

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение электроэнергетики и электротехники

Профиль – Энергосберегающие режимы работы электрических источников питания, комплексов и систем

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Электрооборудование и электропривод судового вентилятора по системе ПЧ-АД

УДК 621.31.629.5.048.62-83

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Л	Корепанов Сергей Юрьевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Воронина Н.А.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фигурко А.А.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Бородин Ю.В.	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Отделение электроэнергетики и электротехники (ОЭЭ) инженерной школы энергетики (ИШЭ)	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ОЭЭ ИШЭ	Дементьев Ю.Н.	Ph.D., К.Т.Н.		

Томск – 2018 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Универсальные компетенции	
P1	<i>Совершенствовать</i> и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.
P2	<i>Свободно пользоваться русским и иностранным языками</i> как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.
P3	<i>Использовать</i> на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.
P4	<i>Использовать</i> представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.
Профессиональные компетенции	
P5	<i>Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания</i> в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.
P6	Ставить и <i>решать инновационные задачи</i> инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.
P7	Выполнять <i>инженерные проекты</i> с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.
P8	Проводить инновационные <i>инженерные исследования</i> в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.
P9	Проводить <i>техничко-экономическое обоснование</i> проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.
P10	Проводить <i>монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы</i> электроэнергетического и электротехнического оборудования.
P11	<i>Осваивать новое</i> электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.
P12	Разрабатывать рабочую <i>проектную и научно-техническую документацию</i> в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять <i>оперативную документацию</i> , предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки: 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Профиль: «Электроприводы и системы управления электроприводов»

УТВЕРЖДАЮ:

Рук. отделения

 (Подпись) _____ (Дата) Ю.Н. Дементьев
 (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5АМ6Л	Корепанов Сергей Юрьевич

Тема работы:

Электрооборудование и электропривод судового вентилятора по системе ПЧ-АД
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	14.06.2018
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p><i>Объектом исследования является электропривод судового вентилятора. В качестве исходных данных представлены:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - производительность вентилятора; - напор (давление), создаваемое вентилятором; - КПД вентилятора;
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - постановка задачи проектирования; - проектирование системы электроснабжения судового вентилятора; - расчет статических и динамических характеристик, их построение; - расчет электромеханических переходных характеристик и их построение; - разработка алгоритма автоматического управления системой вентиляции; - разработка раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»; - разработка раздела «Социальная ответственность»; - заключение. 			
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - силовая схема регулируемого электропривода; - функциональная схема ПЧ-АД; - алгоритм работы автоматической системы. 			
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p>				
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>			
<p>«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</p>	<p>Фигурко Аркадий Альбертович</p>			
<p>«Социальная ответственность»</p>	<p>Бородин Юрий Викторович</p>			
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>				
<p>Введение; расчет статических и динамических характеристик, механических и электромеханических; заключение.</p>				
<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>04.09.2017 г.</p>			
<p>Задание выдал руководитель:</p>				
<p>Должность</p>	<p>ФИО</p>	<p>Ученая степень, звание</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>Доцент</p>	<p>Воронина Наталья Алексеевна</p>	<p>к.т.н.</p>		
<p>Задание принял к исполнению студент:</p>				
<p>Группа</p>	<p>ФИО</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>	
<p>5АМ6Л</p>	<p>Корепанов Сергей Юрьевич</p>			

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5AM6Л	Корепанову Сергею Юрьевичу

Инженерная школа	Инженерная школа энергетики (ИШЭ)	Отделение	ЭПЭО
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, финансовых и человеческих ресурсов.	Стоимость материальных ресурсов определить по средней стоимости по г. Томску. Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	30 % премии 20 % надбавки 16% накладные расходы 30% районный коэффициент
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений	В соответствии с Налоговым кодексом РФ Отчисления во внебюджетные фонды 27,1 %.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Планирование комплекса работ (определение состава работы, определение действующих лиц, установление длительности работы)	Анализ конкурентных технических решений. Оценки перспективности проекта по технологии QuaD.
2. Определение трудоемкости выполнения работ	Формирование плана и графика разработки : -определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Ганта.
3. Расчет бюджета для научно-технического исследования	Формирование бюджета затрат на научное исследование:
4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	- материальные затраты; - заработная плата (основная и дополнительная); - отчисления на социальные цели; - накладные расходы.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Оценочная карта QuaD
3. График Ганта
4. График проведения и бюджет НИ
5. Определение ресурсоэффективности проекта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Фигурко А.А..	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM6Л	Корепанов С.Ю.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5АМ6Л	Корепанову Сергею Юрьевичу

Инженерная школа	Инженерная школа энергетики (ИШЭ)	Отделение	ЭПЭО
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является электрооборудование и электропривод судового вентилятора.
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения). 	<p>Вредные факторы:</p> <p><i>1.Шум;</i></p> <p><i>2.Вибрации;</i></p> <p><i>3.Ненормативные метеоусловия;</i></p> <p>Опасные факторы:</p> <p><i>1.Опасность электропоражения;</i></p> <p><i>2.Пожаровзрывоопасность.</i></p>
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p><i>Правила утилизации твердых отходов.</i></p>

3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<i>Разработка мероприятий по предупреждению загораний и электропоражений и мер по ликвидации их последствий.</i>
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<i>Законодательные и нормативные документы, регулирующие безопасность труда на судне.</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД ИШНКБ	Бородин Юрий Викторович	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Л	Корепанов Сергей Юрьевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 171 страницу, 40 рисунков, 24 таблицы, 34 источника, 6 приложений.

Электрооборудование и электропривод судового вентилятора по системе ПЧ-АД.

Ключевые слова: регулируемый электропривод, преобразователь частоты, скалярное управление, программируемый логический контроллер, автоматическое управление, система вентиляции, механические и электромеханические характеристики, переходные процессы, электромагнитный момент, ток, энергетические показатели, коэффициент полезного действия, судовый вентилятор, ресурсоэффективность, ресурсосбережение, социальная ответственность.

Объектом исследования является электропривод судового вентилятора.

Цель работы: провести расчет и исследование электропривода судового вентилятора по системе ПЧ - АД и выбрать необходимое оборудование. Разработка алгоритма автоматического управления системой вентиляции. Экономическое обоснование принятых решений.

В процессе исследования произведен выбор метода расчета на основе исходных данных, поэтапный расчет силового оборудования, его выбор и проверка при различных режимах работы.

С помощью имитационной модели в MATLAB проведено исследование АД, получены переходные характеристики.

Пояснительная записка выпускной квалификационной работы выполнена в текстовом редакторе Microsoft Office Word 2010 с использованием пакетов MathCad 15, MATLAB Simulink, Microsoft Visio.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	11
1. ОБЪЕКТ АВТОМАТИЗАЦИИ.....	12
1.1. ОБЩИЕ ОСНОВЫ ВЕНТИЛЯЦИИ НА СУДНЕ	14
1.2. ТИПЫ ВЕНТИЛЯТОРОВ	15
1.3. КЛАССИФИКАЦИЯ СУДОВЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ.....	17
1.4. ТРЕБОВАНИЯ К ЭЛЕКТРОПРИВОДУ ВЕНТИЛЯТОРА	19
1.5. СИСТЕМА ВЕНТИЛЯЦИИ	21
1.6. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ.....	22
1.7. АППАРАТУРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА	25
1.8. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРИТОЧНОЙ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ.....	29
2. РАСЧЕТ И ВЫБОР СИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА	36
2.1. РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ ЕГО ВЫБОР.....	36
2.2. ВЫБОР ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА	42
2.3. РАСЧЕТ И ВЫБОР ОСНОВНЫХ СИЛОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА	47
2.3.1. Расчет АИИ.....	47
2.3.2. Расчет выпрямителя (трехфазная мостовая схема)	49
2.3.3. Расчет фильтра.....	49
2.4. ВЫБОР АППАРАТУРЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ.....	50
2.5. ВЫБОР ПРОГРАММИРУЕМОГО ЛОГИСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛЕРА	52
2.6. ВЫБОР ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ.....	58
2.7. РАСЧЕТ И ВЫБОР ТИПА И СЕЧЕНИЯ КАБЕЛЯ СЕТИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ И ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ	60
2.7.1. Выбор кабелей	60
2.7.2. Выбор клеммных зажимов	60
2.7.3. Выбор шкафа управления	61
2.8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ЗА ЦИКЛ РАБОТЫ, СРЕДНЕЦИКЛОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ КПД И КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ.	65
2.9. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ, БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ, ЭСТЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА	68
2.10. ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА.....	73
3. РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ РАЗОМКНУТОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА	75

3.1. РАСЧЁТ ЕСТЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК $\omega = f(I)$, $\omega = f(M)$ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА	75
3.2. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК $\omega = f(t)$ И $M = f(t)$ АД ПУСКЕ, НАБРОСЕ И СБРОСЕ НАЗРУЗКИ ПРИ МГНОВЕННОМ ИЗМЕНЕНИИ ЗАДАНИЯ, А ТАК ЖЕ ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК $\omega = f(t)$ И $M = f(t)$ АД ПРИ ПУСКЕ ВЕНТИЛЯТОРА	88
4. ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА	95
4.1. СИЛОВАЯ СХЕМЫ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА	95
4.2. СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА	96
5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	99
5.1. ОЦЕНКА КОММЕРЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА И ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ С ПОЗИЦИИ РЕСУРСООФФЕКТИВНОСТИ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ	100
5.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования	100
5.1.2. Технология QuaD.....	101
5.1.3. SWOT-анализ.....	104
5.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНЫХ АЛЬТЕРНАТИВ ПРОВЕДЕНИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	111
5.3. ПЛАНИРОВАНИЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ	111
5.3.1. Структура работ в рамках научного исследования	111
5.3.2. Определение трудоемкости выполнения работ.....	113
5.3.3. Разработка графика проведения научного исследования.....	114
5.3.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	118
5.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСООФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТА	124
6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	127
6.1. АНАЛИЗ ВРЕДНЫХ ФАКТОРОВ.....	127
6.2. АНАЛИЗ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ.....	129
6.3. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	131
6.4. ЗАЩИТА В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ	132
6.5. ПРАВОВЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ВОПРОС ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ	136
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	139
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	141
ПРИЛОЖЕНИЯ	145

ВВЕДЕНИЕ

Отдельные приёмы проветривания замкнутых помещений были ещё в давние времена. До начала XIX века вентиляцией помещений было естественное проветривание. М. В. Ломоносов создал теорию естественного движения воздуха в трубах и каналах. В. Х. Фрибе в 1795 году впервые рассказал основные положения, которые определяют интенсивность воздухообмена в обогреваемом помещении сквозь щели наружных ограждений, дверные проёмы и окна, положив этим начальную точку учений о нейтральной зоне [12].

Развитие вентиляции с тепловым побуждением приточного и удаляемого из помещения воздуха приобретает в начале XIX века. Русские учёные наблюдали недостаток такого рода побуждения и связанные с ним высокие затраты теплоты. Академик Э. Х. Ленд говорил, что абсолютная вентиляция может быть получена только механическим способом.

С внедрением центробежных вентиляторов технология вентиляции помещений стремительно улучшается. Первый успешно работавший центробежный вентилятор был предоставлен в 1832 году А. А. Саблуковым. В 1835 году этот вентилятор был задействован для вентиляции Чагирского рудника на Алтае. Саблуков предложил его и для проветривания помещений, для ускорения сушки, вентиляции трюмов кораблей и так далее. Обширное распространение вентиляции с механическим побуждением движения воздуха началось с конца XIX века.

1. ОБЪЕКТ АВТОМАТИЗАЦИИ

Вентилятором называется механизм, предназначенный для перемещения воздуха или газов с повышением их давления. По конструкции и принципу действия вентиляторы разделяются на центробежные и осевые. Принцип их работы такой же, как у центробежных и осевых насосов. Центробежные вентиляторы выполняют обычно горизонтальными, а осевые – вертикальными [3, 12].

По назначению вентиляторы разделяются на вдувные, вытяжные и ветрогонные. Вдувные вентиляторы предназначены для нагнетания воздуха в какое-либо помещение или устройство. Часто такие вентиляторы называют нагнетательными. Вытяжные вентиляторы предназначены для удаления воздуха из помещения или устройства. Вентиляторы-ветрогоны предназначены для создания принудительной циркуляции воздуха без замены его.

По создаваемому давлению вентиляторы делятся на вентиляторы низкого давления, создающие давление до 1 кН/м^2 (100 мм вод. ст.), среднего давления – до $3,0 \text{ кН/м}^2$ (300 мм вод. ст.) и высокого давления – до 15 кН/м^2 (1500 мм вод. ст.).

Для служебных и жилых помещений применяют вдувные и вытяжные вентиляторы центробежного и осевого типов с производительностью до 50 тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$ при давлении от 0,5 до $2,0 \text{ кН/м}^2$ (50-200 мм вод. ст.).

Котельные вентиляторы подают воздух в топки парогенераторов для обеспечения полного сгорания топлива. Для этого применяют центробежные вентиляторы с производительностью до 180 тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$ и давлением до $13,0 \text{ кН/м}^2$ (1300 мм вод. ст.). В некоторых котельных установках применяют так называемые дымососы, предназначенные для отсоса газов от парогенераторов и улучшения тяги в них. В качестве дымососов применяют вентиляторы осевого типа. Котельные вентиляторы не входят в систему вентиляции судна.

Для вентиляции трюмов применяют вдувные и вытяжные Центробежные и осевые вентиляторы. Для привода вентиляторов используют электродвигатели и паровые турбины [16].

На рисунке 1 показана конструкция котельного вентилятора, часто устанавливаемого на судах. Вентилятор состоит из корпуса 1, рабочего колеса 2 с лопатками (лопастями), приемного патрубка 3 и вала 4, вращающегося от электродвигателя 5. При вращении рабочего колеса воздух засасывается через приемный патрубок 3, направляется к периферии корпуса и далее в нагнетательный патрубок (выход воздуха показан стрелкой).

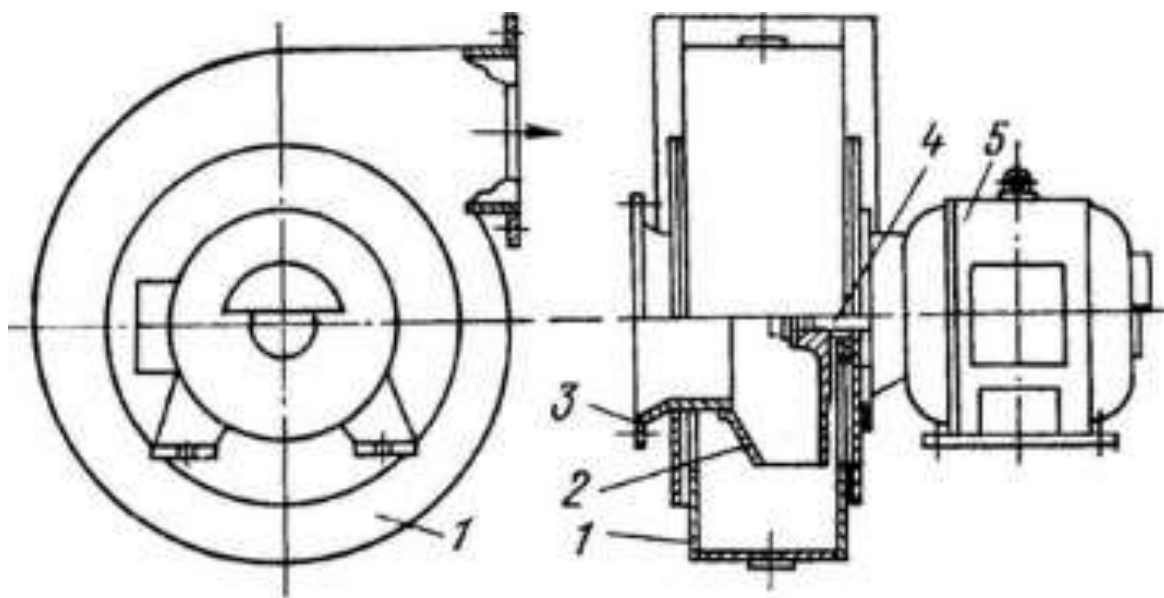


Рисунок 1 – Конструкция котельного вентилятора

Осевые вентиляторы более просты по устройству и более компактны, чем центробежные, но развиваемое ими давление меньше. Поэтому осевые вентиляторы применяют там, где требуются малое давление и достаточная производительность.

Кроме стационарных на судах применяют переносные вентиляторы. Их используют для вентиляции помещений, не оборудованных стационарными вентиляторами.

Привод вентиляторов как правило электрический. В состав электрических вентиляторов входит набор вращающихся лопаток, размещенных в защитном корпусе, который позволяет воздуху проходить через него. Лопасты приводятся в движение электродвигателем. Для больших промышленных вентиляторов применяются трёхфазные асинхронные двигатели. Меньшие

вентиляторы обычно приводятся в действие с помощью электродвигателя переменного тока с экранированным полюсом, щётчными или бесщёточными ДПТ. Вентиляторы с приводом от двигателей переменного тока как правило применяют напряжение электросети. Вентиляторы с приводом от ДПТ используют достаточно низкое напряжение, 24 В, 12 В или 5 В. В вентиляторах охлаждения для компьютеров используют только бесщёточные ДПТ, производящие значительно менее электромагнитных помех при работе. В машинах, имеющих двигатель, вентилятор чаще всего соединяется непосредственно с ним — это можно наблюдать в автомобилях, в крупных системах охлаждения. Также вентиляторы располагаются на одном валу многих электродвигателей мощностью 1 кВт и более, проводя сквозь обмотки двигателя остужающий воздух — самовентиляция электродвигателя. Для предотвращения распространения вибрации по каналу вентиляторы дополняются тканевыми компенсаторами или эластичными вставками.

1.1. Общие основы вентиляции на судне

Вентиляторы предназначены для перемещения воздуха в системах вентиляции, кондиционирования и воздушного отопления, подачи воздуха в котлы морских и рыбопромысловых судов неограниченного района плавания, речных судов смешанного и внутреннего плавания, производственных, медицинских, общественных и жилых зданий, а также спецобъектов с повышенными требованиями к надежности, балансировке и сроку службы вентиляторов [5].

Вентиляторы в зависимости от исполнения могут использоваться как для перемещения воздуха, не содержащего взрывоопасных и агрессивных примесей, воздуха с парами аммиака в объемной доле до 15% или воздуха с одновременным содержанием паров серной кислоты и водорода с объемной долей, не превышающей 3%, так и воздуха, содержащего пары бензина или керосина.

Вентиляторы и комплектующие изделия отечественного производства соответствуют требованиям правил Российского Морского Регистра Судоходства и Российского Речного Регистра.

Климатическое исполнение, категория размещения и условия эксплуатации вентиляторов в части воздействия климатических факторов внешней среды соответствуют ОМ2 по ГОСТ 15150. Вентиляторы также пригодны для эксплуатации в условиях ОМ3, ОМ4, ОМ5.

Вентиляторы изготавливаются правого и левого исполнения.

Вентиляторы комплектуются электродвигателями на напряжение 220 В, 380 В и 415 В, частота 50 – 60 Гц.

Показатели надежности:

срок службы – 25 лет;

ресурс до списания – 60 000 ч.

Вентиляторы надежно работают при следующих значениях качки, наклонов и ударных нагрузок:

- качка бортовая с периодом 7...9 сек., амплитуда до 22,5°;
- качка килевая с периодом 5...7 сек., амплитуда до 10°;
- крен длительный до 15°;
- дифферент длительный до 5°;
- вибрация с амплитудой ± 1 мм от 2 до 13,2 Гц;
- вибрации с ускорением $\pm 0,7$ g от 13,2 до 80 Гц;
- сотрясения с ускорением ± 5 g, ударов в минуту от 40 до 80 мин⁻¹.

Вентиляторы изготавливаются из алюминиевых сплавов.

1.2. Типы вентиляторов

Центробежный (радиальный) вентилятор

Такой тип вентилятора имеет вращающийся ротор, который состоит из лопаток спиралевидной формы. Воздух сквозь входное отверстие попадает внутрь ротора, где он принимает вращательное движение и, благодаря центробежной силе и особой форме лопаток, поступает в выходное отверстие

специального спиралевидного кожуха (именуемой «улиткой», от внешнего подобия). Таким образом, выходной поток воздуха располагается под углом в 90 градусов к входному (прямой угол). Этот вид вентилятора обширно применяется в индустрии.

В зависимости от типа, предназначения и габаритов вентилятора, число лопаток рабочего колеса бывает разнообразным, а сами лопатки производят загнутыми назад или вперёд (относительно направления вращения). Использование центробежных вентиляторов с лопатками, завернутыми назад, приносит экономию электроэнергии приблизительно 20 %. Также они без затруднений выдерживают перегрузки по потреблению воздуха. Плюсами центробежных вентиляторов с лопатками, завернутыми вперёд, становятся малый диаметр колеса, а, следовательно, и меньшие габариты самого вентилятора, и небольшая частота вращения, что формирует меньший шум.

Радиальные вентиляторы разделяются на вентиляторы низкого, среднего и высокого давления.

Радиальные вентиляторы из алюминиевых сплавов, с взрывозащитными электродвигателями, по классу защиты от искрообразования принадлежат к вентиляторам с повышенной защитой, то есть к таким вентиляторам, в которых внедрены меры и средства, затрудняющие появление опасных искр. Вентиляторы применяются для перемещения газопаровоздушных взрывоопасных смесей с температурой не более 80° С, не вызывающих форсированной коррозии проточной части вентиляторов, которые не содержат взрывчатых веществ, взрывоопасной пыли, клейких и волокнистых материалов с запыленностью не выше 10 мг/м³. Температура окружающей среды должна соответствовать пределам от –40 до +45 °С.

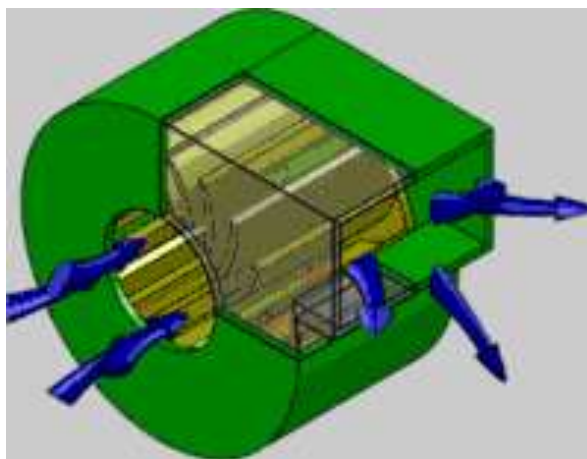


Рисунок 2 – Центробежный вентилятор

1.3. Классификация судовых вентиляторов

Вентиляторы радиальные типа РСС низкого и среднего давления

Вентиляторы радиальные по техническим условиям ТУ УЗ.01-14308032-144-99, предназначены для перемещения воздуха в системах вентиляции и кондиционирования. Специально оговоренные исполнения вентиляторов предназначены для перемещения воздуха, содержащего пары аммиака, серной кислоты, бензина или керосина [15].

Вентиляторы РСС взрывозащищенные

Предназначены для перемещения воздуха в системах вентиляции судов и других объектов во взрывоопасных зонах помещений и наружных установок для групп воспламеняемости Т1,Т2,Т3,Т4 ГОСТ 12.1.011 с требованиями по надёжности , повышенному сроку службы.

Вентилятор переносной РСС 10/10-П "КРАБ"

Предназначен для приточной и вытяжной вентиляции помещений при достройке и ремонте судов, временных рабочих мест в цехах заводов, на стройках.

Вентиляторы осевые судовые типа ОС, ОСО, ВОС

Предназначены для перемещения воздуха в системах судовой вентиляции и кондиционирования жилых, служебных и общественных помещений, а также в составе систем рефрижерации с невзрывоопасным хладагентом; для

вентиляции судовых грузовых трюмов и любых других помещений со взрывоопасными примесями.

Вентиляторы центробежные типа ЦС

Предназначены для вентиляции и кондиционирования жилых и служебных помещений судов всех типов и назначений, не содержащих взрывоопасных и агрессивных примесей. Вентиляторы могут быть выполнены в маломагнитном исполнении ЦСМ.

Вентилятор радиальный низкого давления

Служат для перемещения воздуха и иных газовых смесей, агрессивность которых по отношению к углеродистым сталям, обыкновенного качества, не больше агрессивности воздуха с температурой до $+80^{\circ}\text{C}$, которые не содержат пыли и прочих твердых примесей в количестве выше 100 мг/м^3 , а также липких веществ и волокнистых материалов. Вентиляторы используются в стационарных системах вентиляции и воздушного отопления производственных, общественных и жилых зданий, а также для иных санитарно-технических и производственных целей.

Вентилятор радиальный среднего давления ВЦ

Вентилятор низкого или среднего давления, одностороннего всасывания. Корпус вентилятора - спиральный поворотный. Вращение вентилятора - правое и левое. Лопатки рабочего колеса загнуты вперед. Количество лопаток – 16 шт. Вентиляторы ВЦ 14-46 из углеродистой стали используются для передвижения воздуха и разнообразных газовых смесей. Агрессивность этих смесей не должна быть выше агрессивности воздуха температурой равной примерно $+80^{\circ}\text{C}$ (по отношению к углеродистым сталям обыкновенного качества). Перемещаемая среда не должна хранить липких веществ, волокнистых материалов, а также пыли и других твердых примесей в размере более 100 мг/м^3 .

Высокого давления

Для перемещения неагрессивного газа или воздуха с температурой не выше $+80^{\circ}\text{C}$ и запыленностью не более 1200 мг/м^3 , не содержащего липких и

волокнистых веществ предназначены радиальные вентиляторы высокого давления.

Пример технических характеристик радиальных судовых вентиляторов, их обозначение, габаритные и присоединительные размеры, акустические характеристики, аэродинамические характеристики приведены в приложениях Б, В, Г, Д, Е соответственно.

1.4. Требования к электроприводу вентилятора

Вентиляторы среди турбомеханизмов располагаются на втором месте следом за насосами по распространению в промышленности. Больше их число доводится на вентиляторы санитарно-технического назначения, которые осуществляют кондиционирование воздуха в производственных и иных помещениях. Несмотря на относительно малую мощность данных вентиляторов (до 100 кВт) на их долю доводится высокая суммарная потребляемая энергия [3].

Мощные вентиляторы применяются для усиления интенсивности охлаждения воды в градирнях металлургических и химических комбинатов. Они имеют низкую частоту вращения рабочего колеса, как правило не выше 600 об/мин.

Ограничение допустимой скорости концов лопастей рабочего колеса заставляет с ростом диаметра колеса уменьшать его номинальную частоту вращения. Вентиляторы обладают высоким моментом инерции, порой на порядок и более превосходящий момент инерции приводного двигателя, что затрудняет их запуск, а в отдельных эпизодах требует употребления электрического торможения для резкой остановки рабочего колеса.

Вентиляторы в отличие от иных турбомеханизмов постоянно работают на сеть без противодавления, из-за чего зависимость момента статического сопротивления на валу приводного двигателя от скорости имеет квадратичный характер, а мощность, которая подводится к вентилятору в отсутствие учета потерь на трение в подшипниках пропорциональна скорости в кубе.

Важное значение для линейки вентиляторов располагает применение регулируемого электропривода, поскольку по отдельным данным утверждается, что коэффициент полезного действия вентиляторов при регулируемом электроприводе должен быть выше, чем при нерегулируемом, приблизительно на 12 %. Кроме увеличения коэффициента полезного действия употребление регулируемого привода вентиляторов позволяет в отдельных случаях упростить устройство турбомашин, а также снабдить синхронную работу двух и более вентиляторов.

В наше время тенденции перехода к регулируемому приводу для вентиляторов стали очевидными.

Вентиляторы являются механизмами с режимом длительной нагрузки с высокой длительностью работы в течение года; нагрузка на валу приводного двигателя тихая, перегрузки не наблюдаются. Вентиляторы имеют высокий момент инерции, который необходимо учитывать при расчете пусковых характеристик электроприводов.

Нужный диапазон регулирования скорости для вентиляторов как правило не превосходит 2:1. Более глубокое регулирование употребляется крайне мало.

Запуск вентилятора может быть как при разгруженной машине, т.е. при затворенном направляющем аппарате, так и при полностью открытом. В первом эпизоде наибольший момент при пуске двигателя вентилятора равен приблизительно 0,4 номинального, во втором – просто номинальному. При пуске мощных вентиляторов с большим диаметром рабочего колеса как правило нужно ограничение ускорений при пуске во избежание появления больших динамических напряжений в лопастях рабочего колеса.

Приведенным требованиям наиболее полно отвечает частотно-регулируемый асинхронный электропривод вентилятора. При этом, обычно, можно ограничиться употреблением простых и дешевых систем частотного регулирования.

1.5. Система вентиляции

Система вентиляции – совокупность технических средств, обеспечивающих постоянное поддержание нормальной воздушной атмосферы в судовых помещениях. Вентиляция помещений может быть:

- вдувной,
- вытяжной,
- комбинированной.

Применение той или иной вентиляционной схемы зависит от размера помещения и его загрязнённости. Вдувная вентиляция в основном используется в каютах, салонах, командных помещениях, создавая повышенное воздушное давление и препятствуя воздушному загрязнению. Вытяжная устраивается в сильно загрязнённых помещениях, таких как прачечные, курительные комнаты, камбузы. Комбинированная используется обычно в очень больших помещениях, обеспечивая наиболее интенсивный воздухообмен. По принципу действия различают естественную и искусственную вентиляцию. Естественная вентиляция происходит за счёт разности давлений воздуха внутри помещений, а также за счёт силы ветра и движения судна. С этой целью на кораблях устанавливают различные вентиляционные трубы, верхними концами выходящие на открытую палубу и снабжённые поворачивающимися головками.

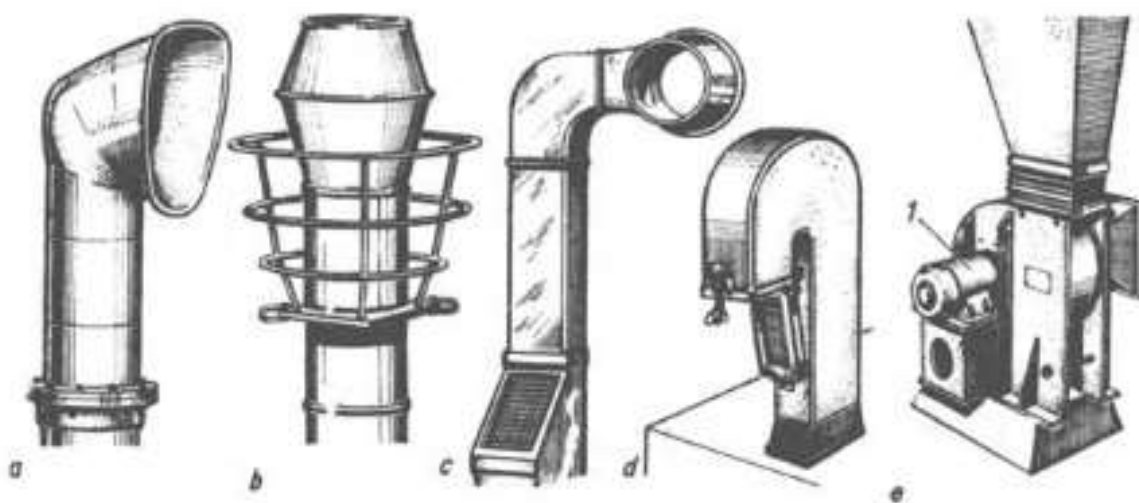


Рисунок 3 – Варианты головок вентиляционных труб: а – приемный; б – вытяжной; в – каютный вентилятор; д – вентилятор загнутый; е – центробежный вентилятор.

Искусственная же вентиляция осуществляется за счёт использования электрических вентиляторов или компрессоров, нагнетающих или вытягивающих воздух из помещений по специальным воздуховодам. Система вентиляции по назначению делится на:

- общесудовую, обслуживающую жилые, служебные и бытовые помещения,
- вентиляцию машинно-котельных отделений,
- вентиляцию грузовых трюмов.

Общесудовая вентиляция бывает обычно искусственной. Ее делают по групповому принципу, когда для нескольких однотипных помещений устанавливают один вентилятор с воздухопроводом, от которого отходят ответвления в каждое помещение. Вентиляция машинно-котельных отделений выполняется всегда независимой, вдувной или комбинированной с преимущественно вдувной. Вентиляция грузовых трюмов делается отдельной для каждого трюма и может быть естественной и искусственной.

Электроприводом называется электромеханическая система, состоящая из электродвигательного, преобразовательного, передаточного и управляющего устройств, предназначенная для приведения в движение исполнительных органов рабочей машины и управления этим движением [1].

1.6 Анализ технологического процесса как объекта управления

Одной из основных составляющих современных систем кондиционирования и вентиляции (СКВ) является средства и системы автоматики. Они реализуют различные функции управления, которые должны с одной стороны обеспечить поддержание требуемого микроклимата в обслуживаемом помещении, а с другой – экономичную и надежную работу технологического оборудования. Диапазон функций управления, выполняемых системами автоматики по количеству и сложности реализации довольно широк: от простого включения – выключения до централизованного управления климатическим или всем инженерным оборудованием [1].

В современных требованиях к автоматизированным системам вентиляции (СВ) и кондиционирования воздуха (СКВ) содержится два противоречивых условия: первое – простота и надежность эксплуатации, второе – высокое качество функционирования.

Основным принципом в технической организации автоматического управления СВ и СКВ является функциональное оформление иерархической структуры подлежащих выполнению задач защиты, регулирования и управления. система промышленной вентиляции

Всякая промышленная СКВ должна быть снабжена элементами и устройствами автоматического пуска и останова, а также устройствами защиты от аварийных ситуаций. Это первый уровень автоматизации СКВ.

Второй уровень автоматизации СКВ – уровень стабилизации режимов работы оборудования.

Решение задач третьего уровня управления связано с обработкой информации и формированием управляющих воздействий путем решения дискретных логических функций или проведения ряда определенных вычислений.

Трехуровневая структура технической реализации управления и регулирования работой СКВ позволяет осуществить организацию эксплуатации систем в зависимости от специфики предприятия и его служб эксплуатации. Регулирование систем кондиционирования воздуха основано на анализе стационарных и нестационарных тепловых процессов. Дальнейшая задача состоит в автоматизации принятой технологической схемы управления СКВ, которая автоматически обеспечит заданный режим работы и регулирования отдельных элементов и системы в целом оптимальном режиме.

Основные технологические функции управления СКВ, как правило, реализуются на уровне отдельных установок с помощью систем автоматического управления (САУ). САУ – это совокупность объекта управления (управляемого технологического процесса) и управляющих устройств, взаимодействие которых обеспечивает автоматическое протекание процесса в соответствии с заданной

программой. При этом под технологическим процессом понимается последовательность операций, которые необходимо выполнить, чтобы из исходного сырья получить готовый продукт. В случае СКВ готовым продуктом является воздух в обслуживаемом помещении с заданными параметрами (температура, влажность, газовый состав и так далее), а сырьем наружный и вытяжной воздух, теплоносители, электроэнергия и другие.

В основу функционирования систем автоматического управления СКВ, как и любой системы управления, положен принцип обратной связи: выработка управляющих воздействий на основе информации об объекте, полученной с помощью датчиков, установленных на объекте.

Каждая конкретная САУ разрабатывается исходя из заданной технологии обработки входного потока воздуха. Это могут быть простые вентиляционные системы или центральные кондиционеры в сочетании с автономными устройствами (осушители, автономные кондиционеры, увлажнители).

При применении автономных устройств или комплектных технологических установок обработки воздуха САУ поставляются уже встроенными в оборудование и уже заложенными определенными функциями управления, которые обычно подробно описываются в технической документации. В этом случае наладка, сервисное обслуживание и эксплуатация таких систем управления должны производиться в точном соответствии с указанной документацией.

Если САУ требует разработки для конкретной технологической схемы и оборудования с инсталляцией в него средств автоматики других фирм – производителей, то определение оптимальной программы и конкретных функций управления должно вестись совместно специалистами по кондиционированию и вентиляции и специалистами по автоматизации. При таком подходе учитываются как требования к системе автоматизации, так и к автоматизируемому объекту.

Современные САУ в качестве средств управления используют, как правило, электронные цифровые устройства на базе микропроцессоров. По

своим техническим возможностям эти устройства позволяют обеспечить управление множеством параметров. Это пуск и остановка отдельных технологических аппаратов и всей системы в целом, блокировка и защита оборудования в аварийных ситуациях, индикация, переход с режима на режим и так далее. Устройства комплексно решающие функции управления и регулирования, называются управляющими контроллерами. При их использовании в большинстве случаев исключается необходимость применения таких элементов автоматики, как реле, преобразователи, переключатели, счетчики, индикаторы, измерительные приборы и тому подобное. Это в свою очередь позволяет:

- повысить точность поддержания регулирующих параметров и надежность работы системы;
- уменьшить габариты средств управления;
- упростить монтаж и сократить сроки его выполнения;
- облегчить эксплуатацию системы.

В ряде случаев, за счет перечисленных достоинств, можно уменьшить фактическую стоимость средства автоматики с учетом капитальных и эксплуатационных затрат.

1.7 Аппаратура технологического процесса

Состав системы вентиляции зависит от ее типа. Наиболее сложными и часто используемыми являются приточные искусственные (механические) системы вентиляции. Типовая приточная механическая вентиляционная система состоит из следующих компонентов (расположенных по направлению движения воздуха, от входа к выходу).

Воздухозаборная решетка – через нее в систему поступает наружный воздух. Вентиляционные решетки, как и все другие элементы вентиляционной системы, бывают круглой или прямоугольной формы. Эти решетки не только выполняют декоративные функции, но и защищают систему вентиляции от попадания внутрь капель дождя и посторонних предметов.

Воздушный клапан предотвращает попадание в помещение наружного воздуха при выключенной системе вентиляции. Воздушный клапан особенно необходим зимой, поскольку без него в помещение будет попадать холодный воздух и снег. Как правило, в приточных системах вентиляции устанавливаются клапаны с электроприводом, что позволяет полностью автоматизировать управление системой – при включении вентилятора (и калорифера) клапан открывается, при выключении – закрывается.

Фильтр – необходим для защиты, как самой системы вентиляции, так и вентилируемых помещений от пыли, пуха, насекомых. Обычно устанавливается один фильтр грубой очистки, который задерживает частицы величиной более 10 мкм. Если к чистоте воздуха предъявляются повышенные требования, то дополнительно могут быть установлены фильтры тонкой очистки (задерживают частицы до 1 мкм) и особо тонкой очистки (задерживают частицы до 0,1 мкм). Фильтрующим материалом в фильтре грубой очистки служит ткань из синтетических волокон, например, акрила. Фильтр необходимо периодически очищать от грязи и пыли, обычно не реже одного раза в месяц. Для контроля загрязнения фильтра можно установить дифференциальный датчик давления, который контролирует разность давления воздуха на входе и выходе фильтра — при загрязнении разность давления увеличивается.

Калорифер или воздухонагреватель предназначен для подогрева подаваемого с улицы воздуха в зимний период. Калорифер может быть водяным или электрическим. Для небольших приточных установок выгоднее использовать электрические калориферы, поскольку установка такой системы требует меньших затрат. Для большого количества помещений желательно использовать водяные нагреватели, иначе затраты на электроэнергию окажутся очень большими. Существует способ в несколько раз снизить затраты на подогрев поступающего воздуха. Для этого используется рекуператор – устройство, в котором холодный приточный воздух нагревается за счет теплообмена с удаляемым теплым воздухом. Разумеется, воздушные потоки при этом не смешиваются.

Вентилятор – основа любой системы искусственной вентиляции. Он подбирается с учетом двух основных параметров: производительности, то есть количества прокачиваемого воздуха и полном давлении. По конструктивному исполнению вентиляторы разделяются на осевые (пример – бытовые вентиляторы "на ножке") и радиальные или центробежные ("беличье колесо"). Осевые вентиляторы обеспечивают хорошую производительность, однако характеризуются низким полным давлением, то есть, если на пути воздушного потока встречается препятствие (длинный воздуховод с поворотами, решетка и тому подобное), то скорость потока существенно уменьшается. Поэтому в системах вентиляции с разветвленной сетью воздуховодов применяют радиальные вентиляторы, отличающиеся высоким давлением созданного воздушного потока. Другими важными характеристиками вентиляторов является уровень шума и габариты. Эти параметры в большой степени зависят от марки оборудования.

Шумоглушитель – поскольку вентилятор является источником шума, после него обязательно устанавливают шумоглушитель, чтобы предотвратить распространение шума по воздуховодам. Основным источником шума при работе вентилятора являются турбулентные завихрения воздуха на его лопастях, то есть аэродинамические шумы. Для снижения этих шумов используется звукопоглощающий материал определенной толщины, которым облицовываются одна или несколько стенок шумоглушителя. В качестве звукопоглощающего материала обычно используют минеральную вату, стекловолокно и тому подобное.

Воздуховоды – после выхода из шумоглушителя обработанный воздушный поток готов к распределению по помещениям. Для этих целей используются воздухопроводная сеть, состоящая из воздуховодов и фасонных изделий (тройников, поворотов, переходников). Основными характеристиками воздуховодов являются площадь сечения, форма (круглая или прямоугольная) и жесткость (бывают жесткие, полугибкие и гибкие воздуховоды).

Скорость потока в воздуховоде не должна превышать определенного значения, иначе воздуховод станет источником шума. Поэтому площадью сечения воздуховода определяется объем прокачиваемого воздуха, то есть размер воздуховодов подбирается исходя из расчетного значения воздухообмена и максимально допустимой скорости воздуха.

Жесткие воздуховоды изготавливаются из оцинкованной жести и могут иметь круглую или прямоугольную форму. Полугибкие и гибкие воздуховоды имеют круглую форму и изготавливаются из многослойной алюминиевой фольги. Круглую форму таким воздуховодам придает каркас из свитой в спираль стальной проволоки. Такая конструкция удобна тем, что воздуховоды при транспортировке и монтаже можно складывать "гармошкой". Недостатком гибких воздуховодов является высокое аэродинамическое сопротивление, вызванное неровной внутренней поверхностью, поэтому их используют только на участках небольшой протяженности.

Распределители воздуха – через них воздух из воздуховода попадает в помещение. Как правило, в качестве воздухораспределителей используют решетки (круглые или прямоугольные, настенные или потолочные) или диффузоры (плафоны). Помимо декоративных функций, воздухораспределители служат для равномерного рассеивания воздушного потока по помещению, а также для индивидуальной регулировки воздушного потока, направляемого из воздухораспределительной сети в каждое помещение. Системы регулировки и автоматики – последним элементом вентиляционной системы является электрический щит, в котором обычно монтируют систему управления вентиляцией. В простейшем случае система управления состоит только из выключателя с индикатором, позволяющего включать и выключать вентилятор. Однако чаще всего используют систему управления с элементами автоматики, которая включает калорифер при понижении температуры приточного воздуха, следит за чистотой фильтра, управляет воздушным клапаном и так далее. В качестве датчиков для системы управления используют термостаты, гигростаты, датчики давления и тому подобное.

1.8 Автоматизация приточной системы вентиляции

При регулировании теплопроизводительности приточных систем наиболее распространенным является способ изменения расхода теплоносителя. Применяется также способ автоматического регулирования температуры воздуха на выходе из приточной камеры путем изменения расхода воздуха. Однако при раздельном применении этих способов не обеспечивается максимально допустимое использование энергии теплоносителя.

С целью повышения экономичности и быстродействия процесса регулирования можно применить совокупный способ изменения теплопроизводительности воздухоподогревателей установки. В этом случае система автоматического управления приточной камерой предусматривает: выбор способа управления приточной камерой (местное, кнопками по месту, автоматическое со щита автоматизации), а также зимнего и летнего режимов работы; регулирование температуры приточного воздуха путем воздействия на исполнительный механизм клапана на теплоносителе; автоматическое изменение соотношения расходов воздуха через воздухоподогреватели и обводной канал; защиту воздухоподогревателей от замерзания в режиме работы приточной камеры и в режиме резервной стоянки; автоматическое отключение вентиляторов при срабатывании защиты от замерзания в режиме работы; автоматическое подключение контура регулирования и открытие приемного клапана наружного воздуха при включении вентилятора; сигнализацию опасности замерзания воздухоподогревателя; сигнализацию нормальной работы приточной камеры в автоматическом режиме и подготовки к пуску.

Система автоматического управления приточной камерой (рис. 4) работает следующим образом. Выбор способа управления производится поворотом переключателя *SA1* в положение «ручное» или «автоматическое», а выбор режима работы — переключателем *SA2* поворотом его в положение «зима» или «лето»,

Ручное местное управление электродвигателем приточного вентилятора *M1* производится кнопками *SB1* «Стоп» и *SB2* «Пуск» через магнитный

пускатель *KM*; исполнительным механизмом *M2* приемного клапана наружного воздуха кнопками *SB5* «Открытие» и *SB6* «Закрытие» через промежуточные реле и собственные конечные выключатели; исполнительным механизмом *M3* клапана на теплоносителе кнопками *SB7* «Открытие» и *SB8* «Закрытие» через промежуточное реле *K5* и собственные конечные выключатели и исполнительным механизмом *M4* фронтально-обводного клапана кнопками *SB9*, *SB10*.

Включение - выключение электродвигателя *M1* вентилятора сигнализируется лампой *HL1* «Вентилятор включен», установленной на щите автоматизации.

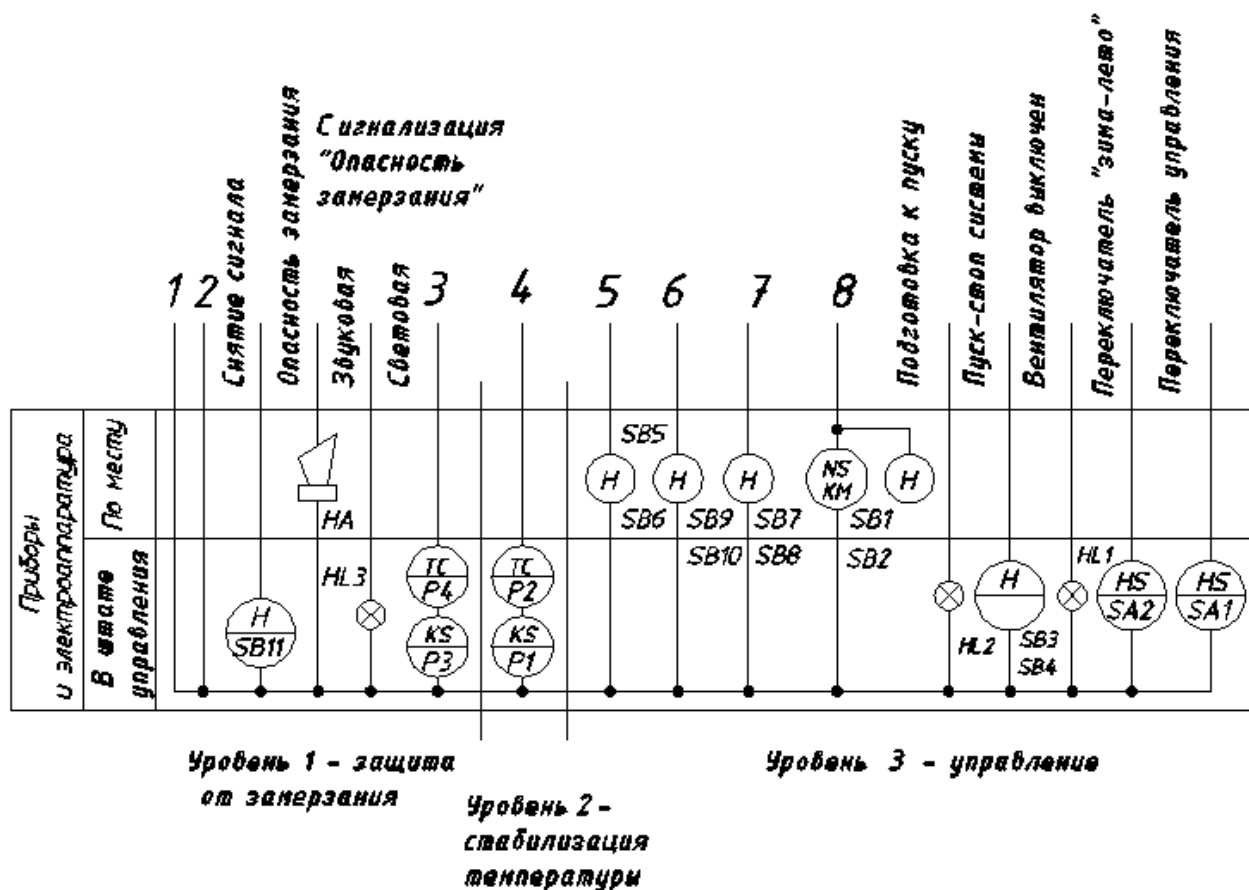
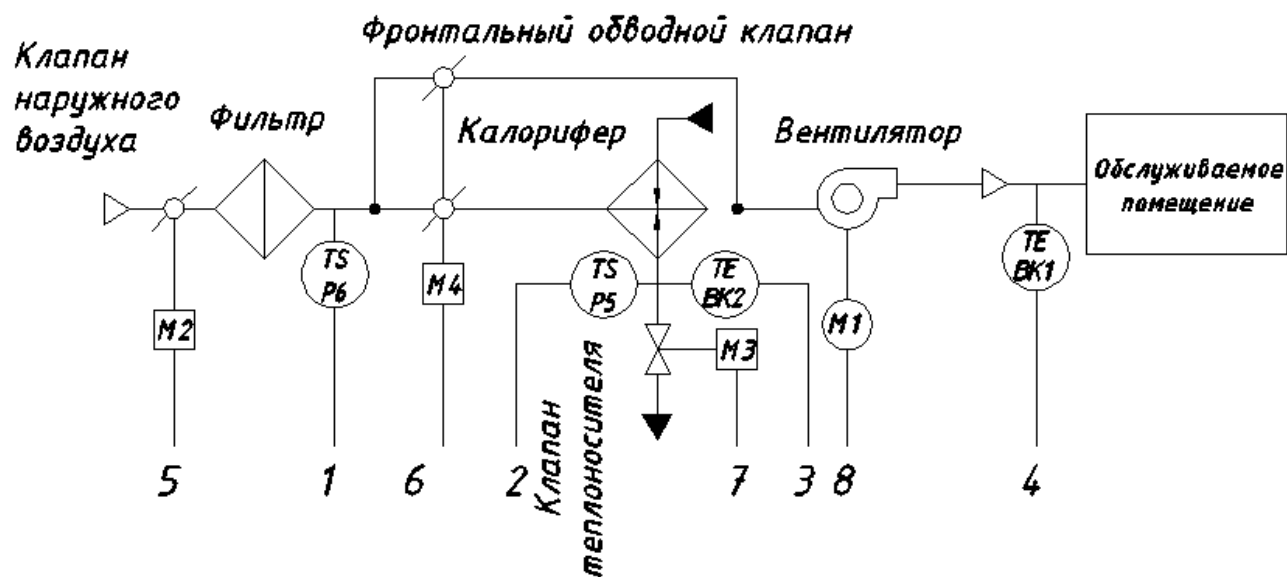


Рисунок 4 – Функциональная схема управления приточной камерой

Включение и выключение приточной камеры в автоматическом режиме работы производится кнопками *SB3* «Стоп» и *SB4* «Пуск», расположенными на щите автоматизации, через промежуточные реле *K1* и *K2*. При этом перед включением вентилятора промежуточные реле *K1*, *K3* и *K6* обеспечивают принудительное открытие клапана на теплоносителе, а после включения

вентилятора промежуточное реле *K2* подключает контур регулирования температуры приточного воздуха и защиту от замерзания, а также открывает приемный клапан наружного воздуха.

Поддержание температуры приточного воздуха осуществляется регулятором температуры *P2* с термисторным датчиком *BK1*, установленным в приточном воздуховоде; управляющий сигнал через релейно-импульсный прерыватель *P1* подается на исполнительный механизм *M3* клапана на теплоносителе. Изменение соотношений расходов воздуха через калориферы и обводной канал производится по сигналам регулятора температуры *P4* с датчиком *BK2*, установленным в трубопроводе теплоносителя. Управляющие сигналы через релейно-импульсный прерыватель *P3* подаются на исполнительный механизм *M4* фронтально-обводного клапана. Защита воздухоподогревательной установки от замерзания обеспечивается датчиком — реле температуры теплоносителя *P5*, чувствительный элемент которого установлен в трубопроводе теплоносителя сразу за первой по ходу воздуха секцией подогрева, и датчиком—реле температуры воздуха *P6* чувствительный элемент которого установлен в воздуховоде между приемным клапаном наружного воздуха и воздухоподогревательной установкой. В случае опасности замерзания через промежуточное реле *K6* производятся отключение электродвигателя *M1* приточного вентилятора, открытие клапана на теплоносителе и включение сигнализации, а также закрытие приемного клапана наружного воздуха. Возникновение опасности замерзания сигнализируется лампой *HL3* «Опасность замерзания» и звуковым сигналом *HA*. Подготовка к пуску вентилятора после нажатия кнопки *SB4* сигнализируется лампой *HL2* (только для зимнего режима).

Для удаления излишней теплоты, выделяющейся в процессе эксплуатации механизмов машинного отделения, на судне оборудуют систему вентиляции, которая обеспечивает требуемые климатические условия согласно СанПиН 2.5.2.703-98. Воздухообмен в машинном отделении осуществляется с помощью естественной вытяжной и искусственной приточной вентиляции [2].

Для морских судов смешанного плавания относящихся к I группе – судна, на которых экипаж постоянно работает и проживает на судне в течение всего времени навигации, предназначенных для эксплуатации в Центральном и Южном речных бассейнах СанПиН 2.5.2.703-98 устанавливают следующие значения температур в машинном отделении:

- от плюс 19 °С до плюс 21 °С в холодное время года (при температуре наружного воздуха от плюс 10 °С и ниже);
- не более чем на 5 °С выше наружной расчетной температуры в теплое время года (при температуре наружного воздуха плюс 10 °С).

Необходимый для удаления теплоты объем воздуха подается вентилятором, который непосредственно соединен с асинхронным электродвигателем.

С целью повышения надежности системы вентиляции применяются частотно-регулируемый асинхронный электропривод вентилятора и программируемый логический контроллер.

Функциональная схема автоматической системы вентиляции приведена на рисунке 5.

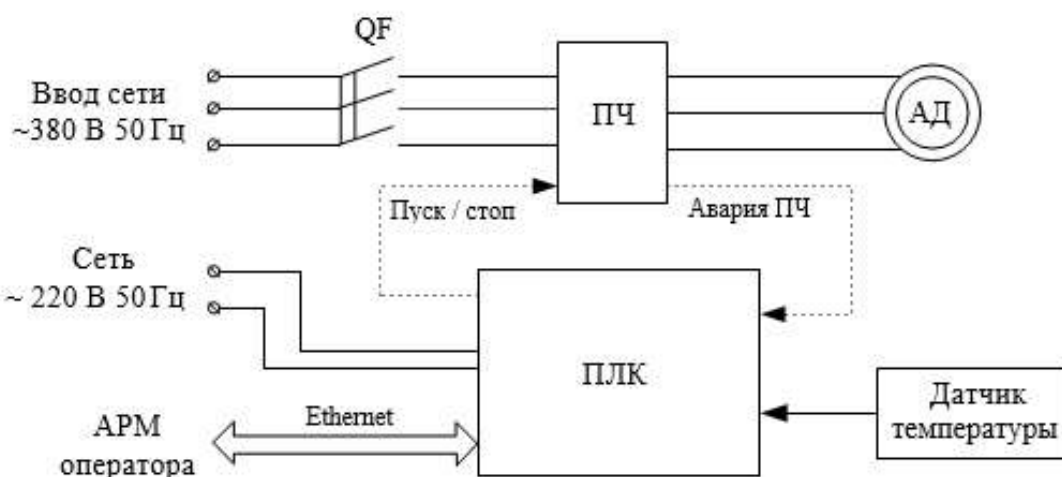


Рисунок 5 – Функциональная схема автоматической системы вентиляции

Применение программируемого логического контроллера в системе электропривода позволяет осуществлять его управление в зависимости от

величины регулируемого технологического параметра, а также обеспечить управление резервным электроприводом в случае возникновения аварий и неисправностей на основном. Помимо формирования команд телеуправления, контроллер обеспечивает телесигнализацию о текущем состоянии системы на верхний уровень (рабочее место оператора).

Программируемый логический контроллер (ПЛК) предназначен для формирования задания на скорость электропривода, а также для его остановки. Сигнал задания представляет собой сигнал типа «открытый коллектор» и поступает с дискретного выхода ПЛК на дискретный вход преобразователя частоты. На дискретный вход ПЛК поступают сигналы о наличии в системе неисправностей и аварий с дискретных выходов преобразователей частоты.

В качестве датчика температуры применяется аналоговый преобразователь температуры с диапазоном аналогового сигнала 0 – 10 В, что соответствует диапазону температуры от 0 до 100 °С. Выходной сигнал датчика температуры поступает на аналоговый вход контроллера.

ПЛК формирует управляющие воздействия на частотные преобразователи в зависимости от значения температуры, а также наличия неисправностей в системе, а также вывод телесигнализации о текущем состоянии системы.

Связь контроллера с автоматизированным рабочим местом оператора (АРМ оператора), которое представляет собой верхний уровень автоматизированной системы управления, осуществляется посредством интерфейса Ethernet со скоростью обмена 100 Мбит/с.

Алгоритм работы автоматической системы вентиляции представлен на рисунке 6.

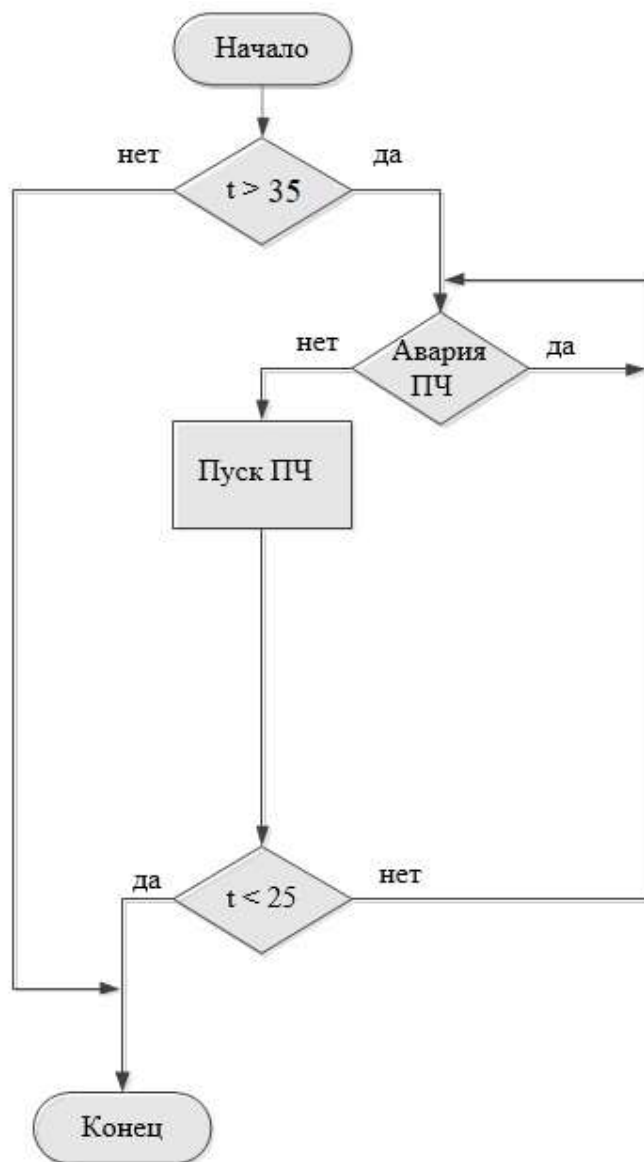


Рисунок 6 – Алгоритм работы автоматической системы вентиляции

В соответствии с данным алгоритмом можно выделить следующие основные режимы работы системы:

- запуск преобразователя частоты при превышении температуры плюс 35°C ;
- остановка преобразователя частоты при достижении температуры плюс 25°C и ниже.

2. РАСЧЕТ И ВЫБОР СИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

2.1. Расчет мощности двигателя и предварительный его выбор

Определим мощность вентилятора [2]:

$$P_{\text{в}} = \frac{Q \cdot H}{\eta_{\text{в}}} \cdot 10^{-3};$$

где $P_{\text{в}}$ – мощность вентилятора, кВт;

Q – производительность вентилятора, м³/с;

H – напор (давление), создаваемое вентилятором, Па;

$\eta_{\text{в}}$ – КПД вентилятора, о. е.;

$$P_{\text{в}} = \frac{Q \cdot H}{\eta_{\text{в}}} \cdot 10^{-3} = \frac{0,116 \cdot 9000}{0,75} \cdot 10^{-3} = 1,392 \text{ кВт};$$

$$Q = 420 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,116 \text{ м}^3/\text{с};$$

Определим коэффициент запаса:

Таблица 1 – Рекомендуемые $K_3 = F(P_{\text{в}})$

$P_{\text{в}}, \text{ кВт}$	до 1,0	1...2	2...5	более 5
$K_3, \text{ о.е.}$	2	1,5	1,25...1,3	1,1...1,15

$$P_{\text{в}} = 1,392 \text{ кВт} \Rightarrow K_3 = 1,5.$$

Определим расчетную мощность электропривода вентилятора:

$$P_{\text{в}} = K_3 \cdot \frac{Q \cdot H}{\eta_{\text{в}} \cdot \eta_{\text{п}}} \cdot 10^{-3} = 1,5 \cdot \frac{0,116 \cdot 9000}{0,75 \cdot 0,9} \cdot 10^{-3} = 2,32 \text{ кВт},$$

где Q – производительность вентилятора, м³/ч;

H – напор (давление), создаваемое вентилятором, Па;

$\eta_{\text{в}}$ – КПД вентилятора, о. е.;

$\eta_{\text{п}}$ – КПД передачи механической (при ее наличии), о. е.;

При отсутствии данных принимается $\eta_{\text{п}} = 0,88 \dots 0,92$

Выбран асинхронный двигатель с КЗ ротором типа АИР100S4, который изображен на рисунке 7. Технические характеристики приведены в таблице 2.

Общие сведения об электродвигателе АИР100S4: Двигатель переменного тока является очень важным элементом электропривода. Его техникоэнергетические характеристики, долговечность, эффективность, динамичная работа, улучшенные свойства, компактность – ставят асинхронный электродвигатель на первое место между других электрических механизмов. Применение таких машин позволило создать в обществе полное техническое обеспечение разных отраслей. С их помощью были созданы совершенные системы, которые полностью удовлетворили условия бесперебойной работы труда. Электродвигатели АИР100S4 обеспечили интенсивные и качественные технологические операции в промышленности.

Расшифровка маркировки электродвигателя 3 кВт АИР100S4:

АИР - это серия электродвигателя

100 – это габарит электродвигателя (высота оси вращения, расстояние между центром вала электродвигателя и его основанием, станиной)

S - установочный размер по длине станины (длина пакета статора)

"4"- число пар полюсов (параметр влияет на скорость вращения, «4» - соответствует 1500 об/мин).

Монтажные исполнения в электродвигателе 3 кВт АИР100S4:

- 1081 - электродвигатель с двумя подшипниковыми щитами на лапах, с одним цилиндрическим концом вала, может работать при любом направлении конца вала.
- 2081 - электродвигатель на лапах с подшипниковыми щитами, с фланцем на подшипниковом щите. Один цилиндрический конец вала. Электродвигатель может работать при любом направлении конца вала. Фланец большого диаметра, доступный с обратной стороны, с крепящими отверстиями без резьбы.
- 2181 - электродвигатель на приподнятых лапах с подшипниковыми щитами, с фланцем на подшипниковом щите (или щитах). Электродвигатель имеет один цилиндрический конец вала и может работать при любом направлении

конца вала. Фланец малого диаметра, недоступный с обратной стороны, с крепящими отверстиями с резьбой.

- 3081 - электродвигатель без лап с подшипниковыми щитами, с фланцем на одном подшипниковом щите, с одним цилиндрическим концом вала, может работать при любом направлении конца вала.
- 3641 - электродвигатель без лап с подшипниковыми щитами, с фланцем на одном подшипниковом щите, один цилиндрический конец вала.

Технические характеристики электродвигателя АИР100S4:

- Серый чугун – это высококачественный материал корпуса электродвигателя АИР100S4;
- Основное напряжение при котором работает двигатель: 380 В, частота 50 Гц; D = 28 мм – диаметр вала, который по стандарту короткий, что показывает буква S;
- Шарикоподшипники в двигателе улучшенного стандарта, преимущественно уменьшили звук до 56 дБ;
- Степень защиты относится к классу IP 54 – защищает электромотор АИР100S4 от пыли и воды;
- Класс защиты токопровода IP 55, класс нагревостойкости F, выдерживает температуру 1500 °C;
- Масса двигателя 23 кг;
- Вал расположен на высоте 100 мм от станины;
- -45 °C – +40 °C – температурный диапазон для долгосрочной работы двигателя переменного тока;
- КПД = 81,5%, что соответствует высокому показателю эффективности работы асинхронной машины.

Предназначение и основная функция электродвигателя АИР100S4: Все, что описано про электродвигатель АИР100S4, актуально к каждой серии общепромышленного асинхронного трехфазного электродвигателя серии 4А100S4, АД100S4, АИР100S4, 5А100S4, АДМ100S4.

Двигатель АИР100S4 – это универсальная электрическая машина, которая приводит в движение практически все механизмы промышленности.

Электродвигатель 3 кВт АИР100S4 предназначен, чтобы электрическая энергия превращалась в механическую энергию – это и является основной функцией электрических машин. Поэтому электродвигатели АИР100S4 являются преобразователями, а совместимые с ними механизмы такие как вентилятор, насос, компрессор, которые выполняют много функций – это результат их деятельности (например, обеспечения чистого воздуха). Вращение основной части двигателя (ротора) основано на электромагнитном законе, где при вращении магнитного поля статора: проводники обмотки ротора находятся под его влиянием, в которых возникает электродвижущая сила. Она способствует протеканию переменного тока в обмотке ротора, результатом которого есть создание собственного магнитного поля. При вращении совместимых магнитных полей происходит вращение ротора вслед за ними. Электромотор АИР100S4 имеет повышенную надежность, а коэффициент полезного действия достаточно высокий для продуктивной работы. Электродвигатель АИР100S4 легко устанавливается в необходимом месте и работает экологично, без выделения вредных примесей, которые загрязняют внешнюю среду. Корпус электродвигателя 3 кВт АИР100S4 отливают из качественного серого чугуна в специальные формы. Форма является важным элементом конструкции электродвигателя, поэтому она имеет ребристую поверхность.



Рисунок 7 – Внешний вид асинхронного двигателя АИР100S4

Таблица 2 – Техническая характеристика электродвигателя [17]

$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	$n_{\text{ном}},$ об/мин	КПД, %	Коэф. мощности	$I_{\text{ном}},$ А	$M_{\text{пуск}}/$ $M_{\text{ном}}$	$I_{\text{пуск}}/$ $I_{\text{ном}}$	$M_{\text{макс}}/$ $M_{\text{ном}}$	$M_{\text{мин}}/$ $M_{\text{ном}}$	$J, \text{кг}\cdot\text{м}^2$
3	1410	82	0,83	7	2	7	2,2	1,6	0,0087

Таблица 3 – Габаритные размеры

130	133	h31	d30
L	LC	HD	AC
390	455	242	226

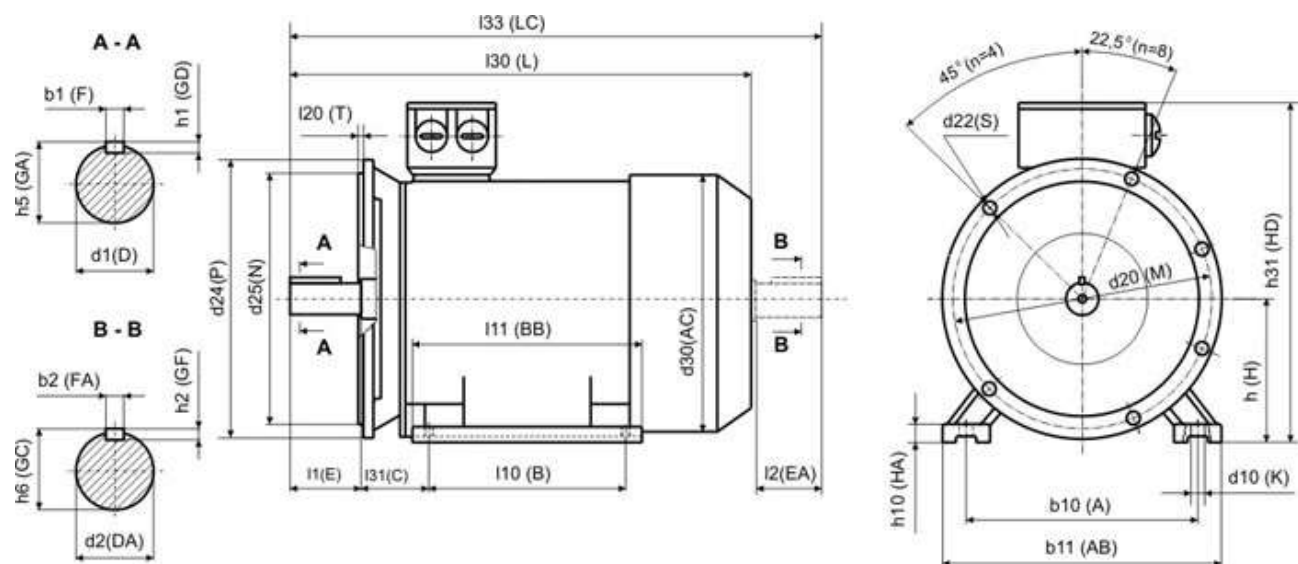


Рисунок 8 – Габаритные и присоединительные размеры двигателя

2.2. Выбор преобразовательного устройства для регулирования электропривода

Существенными минусами асинхронных электродвигателей до недавних времен оставались сложность и неэкономичность регулирования их частоты вращения, а плавное регулирование двигателей с короткозамкнутым ротором было почти неосуществимо. В то же время нужда регулирования частоты вращения была очень значима для привода механизмов, употребляемых для трансформации расходов и функционирующих с переменной нагрузкой.

Частотный преобразователь (преобразователь частоты) – это устройство, которое состоит из выпрямителя (моста постоянного тока), который преобразует переменный ток промышленной частоты в постоянный, и инвертора (преобразователя) (иногда с ШИМ), который преобразует постоянный ток в переменный требуемых амплитуды и частоты. Выходные тиристоры (GTO) или транзисторы IGBT снабжают нужный ток для запитки электродвигателя. Для удаления перегрузки преобразователя при значительной длине фидера между частотным преобразователем и фидером устанавливают дроссели, а для снижения электромагнитных помех – ЕМС-фильтр [18, 13].

При скалярном управлении вырабатываются гармонические токи фаз двигателя. Векторное управление – это метод управления синхронными и асинхронными двигателями, не только формирующим гармонические токи (напряжения) фаз, но и снабжающим управление магнитным потоком ротора (моментом на валу двигателя).

Использованию системы ПЧ-АД сопутствует значительный экономический эффект от внедрения частотных преобразователей, который достигается благодаря следующим факторам:

- экономии электроэнергии в насосных, вентиляторных и компрессорных агрегатах до 50% – 60% за счет регулирования производительности путем изменения частоты вращения электродвигателя в отличие от регулирования способом включения/отключения и т.п.;
- повышения качества продукции;

- увеличения объема выпускаемой продукции и производительности производственного оборудования;
- увеличения срока службы технологического оборудования вследствие улучшения динамики работы электропривода.

Частотно-регулируемый привод (ЧРП) состоит из асинхронного электрического двигателя М и преобразователя частоты ПЧ (рисунок 9):

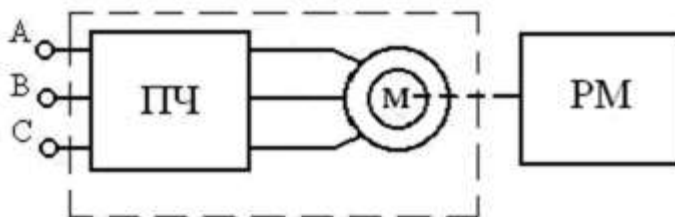


Рисунок 9 – Общая структура ЧРП

Электрический двигатель приводит в движение рабочий механизм РМ (насос, вентилятор, конвейер, питатель и т.п.). Преобразователь частоты ПЧ представляет собой статическое электронное устройство, которое управляет электрическим двигателем. На выходе преобразователя формируется электрическое напряжение с регулируемой частотой и амплитудой.

Регулирование частоты вращения ротора асинхронного двигателя основано на изменении частоты вращающегося магнитного поля, создаваемого статором двигателя.

В наиболее распространенном частотно-регулируемом приводе на основе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором применяются два вида управления – скалярное и векторное.

При скалярном управлении одновременно изменяют частоту и амплитуду подводимого к двигателю напряжения.

Частотный преобразователь состоит из системы управления, выпрямителя и шины постоянного тока. Входное синусоидальное напряжение с постоянной амплитудой и частотой выпрямляется в звене постоянного тока В, сглаживается фильтром состоящим из дросселя L_v и конденсатора фильтра C_v , а затем вновь преобразуется инвертором АИН в переменное напряжение

изменяемой частоты и амплитуды. Регулирование выходной частоты $f_{\text{вых}}$ и напряжения $U_{\text{вых}}$ осуществляется в инверторе за счет высокочастотного широтно-импульсного управления. Широтно-импульсное управление характеризуется периодом модуляции, внутри которого обмотка статора электродвигателя подключается поочередно к положительному и отрицательному полюсам выпрямителя.

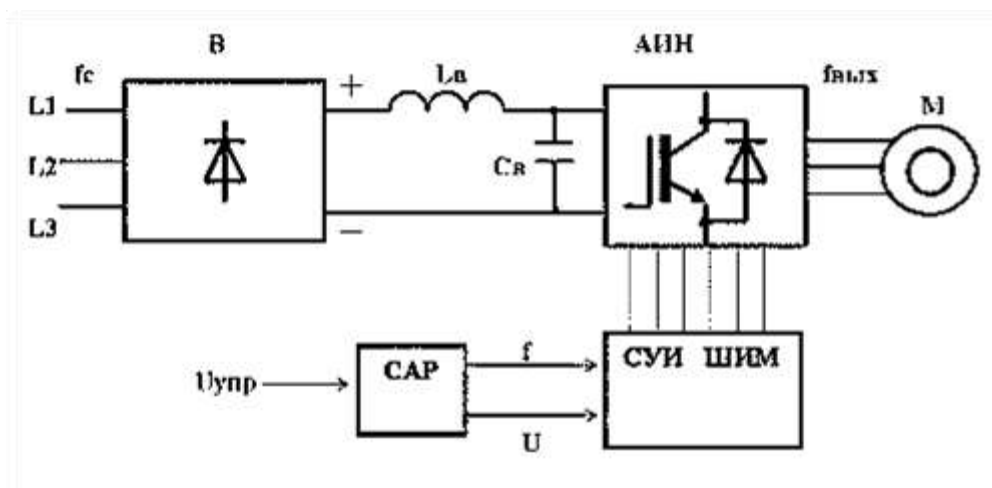


Рисунок 10 – Структурная схема частотного преобразователя

Продолжительность подключения каждой обмотки в границах периода вытекания импульсов модулируется по синусоидальному закону. Максимальная ширина импульсов получается в середине полупериода, а к началу и концу полупериода снижается. Таким образом, система управления СУИ обеспечивает широтно-импульсную модуляцию (ШИМ) напряжения, которое прикладывается к обмоткам двигателя. Частота напряжения и амплитуда устанавливаются параметрами модулирующей синусоидальной функции. Таким образом, на выходе преобразователя частоты сформировывается трехфазное переменное напряжение видоизменяемой амплитуды и частоты.

Выбираем ПЧ при условии, что $I_{\text{н пч}} \geq I_{\text{н дв}}$ $13.6 \geq 7$

Для регулирования выбран преобразователь частоты фирмы Siemens, модель устройства Micromaster 420 (6SE6420-2AC23-0CA1) [19].



Рисунок 11 – Преобразователь частоты Micromaster 420

Частотный преобразователь MICROMASTER 420 может быть употреблен для решения многих задач, которые требуют употребления приводов с переменными скоростями вращения. Больше всего он годится для применения в насосах, вентиляторах и транспортерах. Преобразователь частоты выделяется значительной производительностью и комфортным использованием. Широкий диапазон сетевого напряжения допускает применять его в любой части света. Электропривод, управляемый частотным преобразователем, позволяет с высокой надежностью и эффективностью решать различные задачи автоматизации производства и экономии электроэнергии.

Преобразователь частоты Siemens Micromaster 420 (6SE6420-2AC23-0CA1)

- Мощность: 3 кВт
- Номинальный ток: 13,6А
- Напряжение 0,22 кВ
- Вес: 5,2 кг
- Страна производитель: Германия

Основными функциями преобразователя частоты Siemens Micromaster 420 являются:

- легкий ввод в эксплуатацию;
- гибкая форма из-за модульной конструкции;
- 3 свободно параметризуемых, потенциально развязанных цифровых входа;
- 1 параметризуемый аналоговый выход (от 0 мА до 20 мА);
- 1 аналоговый вход (от 0 до 10 В), по выбору может быть употреблен в качестве 4-го цифрового входа;

- 1 параметрируемый релейный выход (АС 250В/2А – индуктивная нагрузка; DC 30В/5А – омическая нагрузка);
- тихая работа двигателя из-за высокой частоты ШИМ;
- защита двигателя и преобразователя.

Технические характеристики:

- последняя технология IGBT;
- цифровое микропроцессорное управление;
- прямое управление потоком двигателя (FCC), для того, чтобы улучшить динамические характеристики и оптимальное управление двигателем;
- "подхват на ходу";
- U/f -управление линейное; U/f -управление квадратичное; параметрируемая кривая зависимости U/f ;
- компенсация скольжения;
- легкое регулирование процесса благодаря встроенному PI- регулятору;
- автоматический повторный запуск при пропадании напряжения в сети или нарушениях режима работы;
- параметрируемое время разгона и торможения в пределах – 0 ... 650 сек.
- сглаживание кривой пуска;
- 4 частоты пропускания против резонанса;
- точный ввод заданного значения благодаря 10- битному аналоговому входу;
- быстродействующее токоограничение (FCL) для безаварийной работы;
- быстродействующий, репродуцируемый опрос цифровых входов;
- демонтируемый "Y"- конденсатор для применения в сети с изолированной нейтралью IT (при использовании преобразователя в сетях с изолированной нейтралью «Y» конденсатор удаляется. Требуется установка выходного дросселя)
- перегрузочная способность - 150% от номинального момента в течение 60 сек. (каждые 300 сек.);
- Выходная частота: 0...650Гц;

- Класс защиты: IP 20.

Встроенная защита:

- защита от пониженного напряжения и перенапряжения;
- защита от перегрева преобразователя частоты;
- защита двигателя с помощью подключения РТС терморезистора;
- защитное заземление;
- защита от блокировки двигателя;
- защита от изменения параметров;
- защита от КЗ;
- тепловая защита двигателя i2t;
- защита от опрокидывания.

2.3. Расчет и выбор основных силовых элементов системы регулируемого электропривода

2.3.1. Расчет АИН

Максимальный ток через ключи инвертора:

$$I_{c\max} = \frac{P_H \cdot k_1 \cdot \sqrt{2} \cdot k_2}{\eta_{\text{дв}} \cdot \cos \phi \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{л}}} = \frac{3 \cdot 10^3 \cdot 1,2 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,1}{0,82 \cdot 0,83 \cdot \sqrt{3} \cdot 380} = 12,48 \text{ А},$$

где $k_1 = 1,2-1,5$ – коэффициент допустимой кратковременной перегрузки по току, необходимый для обеспечения динамики ЭП, $k_2 = 1,1-1,2$ – коэффициент допустимой мгновенной пульсации тока, $U_{\text{л}} = 380 \text{ В}$ – линейное напряжение двигателя, В.

Выбираем IGBT транзистор SKP15N60 с параметрами: $I_{\text{ном}} = 15 \text{ А}$, $I_{\text{max}} = 31 \text{ А}$, $U_{\text{max}} = 600 \text{ В}$ [20].

Потери в IGBT в проводящем состоянии:

$$P_{\text{ss}} = \frac{I_{c\max}}{k_1} \cdot U_{ce(sat)} \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{D}{3 \cdot \pi} \cdot \cos \phi \right) = \frac{12,48}{1,2} \cdot 2,1 \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{0,95}{3 \cdot \pi} \cdot 0,83 \right) = 4,56 \text{ Вт},$$

где $D = \frac{t_p}{T} \approx 0,95$ – максимальная скважность, $U_{ce(sat)} = 2-2,3\text{В}$ – прямое падение напряжения на IGBT в насыщенном состоянии при I_{cp} и $T_j = 150^\circ\text{C}$.

Потери в IGBT при коммутации:

$$P_{SW} = \frac{1}{\pi\sqrt{2}} \cdot \frac{I_{cp} \cdot U_{cc} \cdot f_{sw} (t_{c(on)} + t_{c(off)}) \cdot f_{sw}}{2} = \frac{1}{3,14 \cdot \sqrt{2}} \cdot \frac{10,4 \cdot 513 \cdot (32 \cdot 10^{-9} + 234 \cdot 10^{-9}) \cdot 7,2 \cdot 10^3}{2} = 1,154 \text{ Вт},$$

$$I_{cp} = I_{cmax} / k_1 = 12,48 / 1,2 = 10,4 \text{ А},$$

где $U_d = 1,35 \cdot U_{л}$, т.к. схема выпрямителя мостовая, $U_{cc} = U_d = 513 \text{ В}$ – напряжение на коллекторе IGBT. Время включения и выключения транзистора: $t_{c(on)} = 32 \cdot 10^{-9}$, $t_{c(off)} = 234 \cdot 10^{-9}$ – продолжительность переходных процессов по цепи коллектора IGBT на открытие и закрытии транзистора соответственно, где $f_{sw} = 7,2 \text{ кГц}$ – частота коммутаций ключей.

Суммарные потери в IGBT: $P_Q = P_{SS} + P_{SW} = 4,56 + 1,154 = 5,714 \text{ Вт}$.

Потери диода в проводящем состоянии:

$$P_{DS} = I_{cp} \cdot U_{ec} \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{D}{3 \cdot \pi} \cdot \cos \phi \right) = 10,4 \cdot 1,4 \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{0,95}{3 \cdot \pi} \cdot 0,83 \right) = 3,04 \text{ Вт},$$

где, $U_{ec} = 1,4 \text{ В}$ – прямое падение напряжения на диоде в проводящем состоянии, $I_{ep} = I_{cp} = 10,4 \text{ А}$.

Потери диода при восстановлении запирающих свойств:

$$P_{DR} = \frac{1}{8} \cdot (U_{cc} \cdot I_{rr} \cdot t_{rr} \cdot f_{sw}) = \frac{1}{8} \cdot (513 \cdot 10,4 \cdot 0,279 \cdot 10^{-6} \cdot 7,2 \cdot 10^3) = 1,34 \text{ Вт},$$

где, $t_{rr} = 0,279 \cdot 10^{-6} \text{ с}$ – продолжительность импульса обратного тока.

Суммарные потери диода:

$$P_D = P_{DR} + P_{DS} = 1,34 + 3,04 = 4,38 \text{ Вт}.$$

Результирующие потери в IGBT с обратным диодом:

$$P_T = P_D + P_Q = 4,38 + 5,714 = 10,094 \text{ Вт}.$$

2.3.2. Расчет выпрямителя (трехфазная мостовая схема)

$U_d = 1,35 \cdot U_{\text{л}}$ – среднее выпрямленное напряжение; $n = 6$ – кол-во пар IGBT/FWD в инверторе.

Максимальное значение среднего выпрямленного тока:

$$I_{dm} = \frac{\cos \phi \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot \frac{I_{\text{с max}}}{\sqrt{2}} + n \cdot P_{\text{T}}}{U_d} = \frac{0,83 \cdot \sqrt{3} \cdot 380 \cdot \frac{12,48}{\sqrt{2}} + 6 \cdot 10,094}{513} = 9,53 \text{ A.}$$

Максимальный рабочий ток диода:

$$I_{vm} = k_{cc} \cdot I_{dm} = 1,045 \cdot 9,53 = 9,96 \text{ A,}$$

где, $k_{cc} = 1,045$ для мостовой трехфазной схемы.

Максимальное обратное напряжение диода:

$$U_{vm} = k_{\text{з.н}} \cdot \sqrt{2} \cdot U_{\text{л}} \cdot k_{\text{с}} \cdot k_{\text{с.н}} + \Delta U_{\text{П}} = 1,2 \cdot \sqrt{2} \cdot 380 \cdot 1,1 \cdot 1,35 + 130 = 1084 \text{ В,}$$

где $k_{\text{с}} = 1,1$ – коэффициент допустимого повышения напряжения сети,

$k_{\text{з.н}} = 1,2$ – коэффициент запаса по напряжению, $k_{\text{с.н}} = 1,35$ – коэффициент схемы для номинальной нагрузки, $\Delta U_{\text{П}} = 100\text{--}150 \text{ В}$ – запас на коммутационные выбросы напряжения в звене постоянного тока.

Диоды выбираются по постоянному рабочему току (не менее I_{vm}) и по классу напряжения (не менее $U_{vm} / 100$).

Выбираем диод Д112-16Х-14 с параметрами $U_{\text{обр max}} = 1400 \text{ В}$, $I_{\text{пр}} = 16 \text{ А}$.

Расчет потерь в выпрямителе для установившегося режима работы ЭП:

$$P_{DV} = m_v \cdot k_{cs} \cdot (U_j + R_{on} \cdot \frac{I_{dm}}{k_1}) \cdot \frac{I_{dm}}{k_1} = 6 \cdot 0,577 \cdot 1 \cdot \frac{9,53}{1,2} = 27,5 \text{ Вт,}$$

$$k_{cs} = 0,577, m_v = 6, U_j + R_{on} \cdot \frac{I_{dm}}{k_1} \leq 1.$$

2.3.3. Расчет фильтра

При переключения транзисторных ключей выходного каскада импульсного усилителя разрывается цепь источника питания, обладающая некоторой индуктивностью. Это вызывает кратковременные перенапряжения на коллекторе запирающего транзистора. Для нейтрализации индуктивности источника питания последний должен шунтироваться конденсатором, емкость

которого достаточно для снятия этих перенапряжений. В системах “преобразователь-двигатель” замыкание тока якоря в направлении, обратном напряжению питания, возможно только через конденсатор фильтра.

Найдем активную мощность, потребляемую нагрузкой:

$$P = I_{dm} \cdot E_d = 9.53 \cdot 513 = 4.89 \text{ кВт}.$$

Из курса теоретических основ электротехники известно, что колебания напряжения на выходе трехфазного выпрямителя с С-фильтром определяются по выражению:

$$\Delta U = \frac{0,17 \cdot P}{f \cdot W_c},$$

где ΔU – колебания напряжения на выходе трехфазного выпрямителя с С-фильтром, %;

f – частота питающей сети, Гц;

W_c – энергия, запасенная в конденсаторе, Дж.

Из данного выражения найдем:

$$W_c = \frac{0,17 \cdot P}{\Delta U \cdot f} = \frac{0,17 \cdot 4.89}{1,4 \cdot 5000} = 0.118 \text{ Дж}.$$

Известно, что энергия, запасенная в конденсаторе, определяется:

$$W_c = \frac{C \cdot U_d^2}{2}.$$

Найдем требуемую емкость конденсатора:

$$C = \frac{2 \cdot W_c}{U_d^2} = \frac{2 \cdot 0.118}{513^2} = 0.896 \text{ мкФ}.$$

Согласно полученному значению выбираем следующие конденсаторы: К73-17-400-1.5 мкФ – 1 шт.

2.4. Выбор аппаратуры управления и защиты

По номинальному току и мощности были выбран контактор фирмы Schneider-electric серии LC1K1610Q7 по каталогу [21].



Рисунок 12 – Контактор LC1K1610Q7

Таблица 4 – Технические характеристики контактора

Характеристики	Величина
Номинальный рабочий ток, АС-3	16 А
Номинальная рабочая мощность, АС-3	3 кВт
Номинальное рабочее напряжение катушки	380 В
Встроенные вспомогательные контакты	1 НО

Также был выбран автоматический выключатель Schneider Electric EasyPact TVS специально предназначенный для защиты электродвигателей мощностью 3 кВт [22].



Рисунок 13 – Автоматический выключатель EasyPact TVS GZ1E16.

Защита двигателя осуществляется с помощью теплоэлектромагнитного расцепителя, встроенного в автоматический выключатель.

Магнитный расцепитель (защита от короткого замыкания) имеет фиксированную уставку, которая равна максимальной токовой уставке теплового расцепителя ($13 I_n$).

Тепловой расцепитель (защита от перегрузки) включает в себя устройство компенсации изменений температуры окружающей среды.

Номинальный ток двигателя устанавливается на автоматическом выключателе с помощью регулировочного диска в диапазоне до 14 А.

Защита обслуживающего персонала: все части автоматического выключателя защищены от прямого прикосновения.

Кроме того, существует расцепитель минимального напряжения, предназначенный для отключения выключателя при аварийном снижении напряжения. При этом пользователь защищен от внезапного пуска механизма при восстановлении номинального напряжения питания. Для повторного включения двигателя необходимо еще раз нажать кнопку «Пуск».

- Номинальный ток 14 А;
- Номинальная мощность двигателя 3 кВт;
- Масса автоматического выключателя 0.26 кг;
- Диапазон уставок тепловых расцепителей 9-14 А;
- Ток магнитного отключения 170 А.

2.5. Выбор программируемого логистического контроллера

В проектируемой автоматической системе вентиляции используется программируемый логический контроллер ОВЕН ТРМ133М.

Контроллеры ОВЕН используются для контроля систем приточно-вытяжной вентиляции. Оборудование используется для того, чтобы автоматически контролировать температуру приточного воздуха по заданной установке или по графику; измерения влажности; диагностики аварийных ситуаций, и выполнения множества других эффективных функций.

Возможности контроллера для систем вентиляции и кондиционирования ТРМ133М

- Встроенные часы реального времени;
- Автоматическая настройка ПИД-регуляторов;
- Автоматический выбор режимов (прогрев/нагрев/охлаждение/вентиляция);
- Возможность смены прошивки (при помощи комплекта для перепрошивки TPM133M).

Функциональные возможности ОВЕН TPM133M

- Автоматическое регулирование температуры приточного воздуха в соответствии с заданной уставкой или по графику (от температуры наружного воздуха);
- Измерение, контроль и регулирование следующих основных параметров:
 - температуры воды, возвращаемой в теплосеть, в соответствии с графиком (для TPM133M-02);
 - температуры комнатного воздуха.
- Измерение дополнительных физических параметров:
 - влажности;
 - положения задвижек.
- Формирование сигналов управления внешними исполнительными механизмами и устройствами: водяным либо фреоновым калориферами охлаждения, калорифером нагрева, ТЭНом воздушного клапана, приточным/вытяжным вентилятором, насосами в контурах нагрева и охлаждения, воздушным клапаном, устройствами сигнализации
- Диагностика аварийных ситуаций
- Задание значений программируемых рабочих параметров с помощью встроенной клавиатуры управления, а также от ПК по сети RS-485 и RS-232
- Поддержка протоколов обмена: ОВЕН, Modbus-RTU и Modbus-ASCII

Технические характеристики контроллера представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Технические характеристики контроллера

Наименование параметра	Значение
Напряжение, В	90...245
Частота, Гц	47...63
Потребляемая мощность, ВА, не более	12
Аналоговые входы, количество	8
Дискретные входы, количество	8
Уровень сигнала, соответствующий логической единице на входе, В	12...36
Уровень сигнала, соответствующий логическому нулю на входе, В	0...4
Подключаемые входные устройства	Датчики типа «сухой контакт», коммутационные устройства (контакты реле, кнопок и т.д.)
Встроенный вторичный источник питания	24 ±3
Напряжение, В, Максимально допустимый ток нагрузки, мА	180
Интерфейс связи	RS-485; RS-232
Режим работы	Slave
Протоколы передачи данных	ОБЕН; Modbus ASCII; Modbus RTU, Ethernet
Тип корпуса	DIN12M
Габаритные размеры прибора, мм	(157x86x58)±1
Степень защиты корпуса (со стороны лицевой панели)	IP20
Масса прибора, кг, не более	0,5
Температура окружающего воздуха, °С	-10...+55

Условия эксплуатации контроллера

Контроллер ТРМ133М эксплуатируется при следующих условиях:

- закрытые взрывобезопасные помещения без агрессивных паров и газов;
- температура окружающего воздуха от - 10 до + 55 °С;
- верхний предел относительной влажности воздуха – 80 % при 25 °С и более низких температурах без конденсации влаги;
- атмосферное давление от 84 до 106,7 кПа.

По устойчивости к климатическим воздействиям при эксплуатации контроллер соответствует группе исполнения В4 по ГОСТР 52931–2008 и категории УХЛ4 по ГОСТ 15150-69.

По устойчивости к механическим воздействиям при эксплуатации контроллер соответствует группе исполнения N2 по ГОСТР 52931–2008.

По устойчивости к электромагнитным воздействиям и по уровню излучаемых радиопомех контроллер соответствует классу А по ГОСТР 51522-99 (МЭК 61326-1-97). Допускается установка контроллера в непосредственной близости от частотных преобразователей.

Внешний вид контроллера приведен на рисунке 14.



Рисунок 14 – Внешний вид контроллера

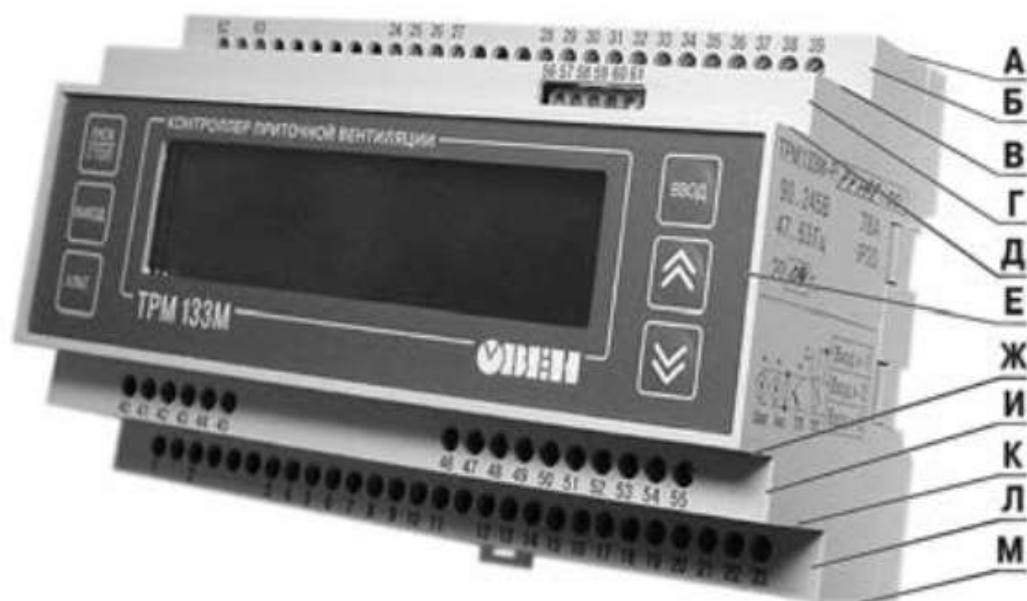


Рисунок 15 – Внешний вид контроллера с обозначениями

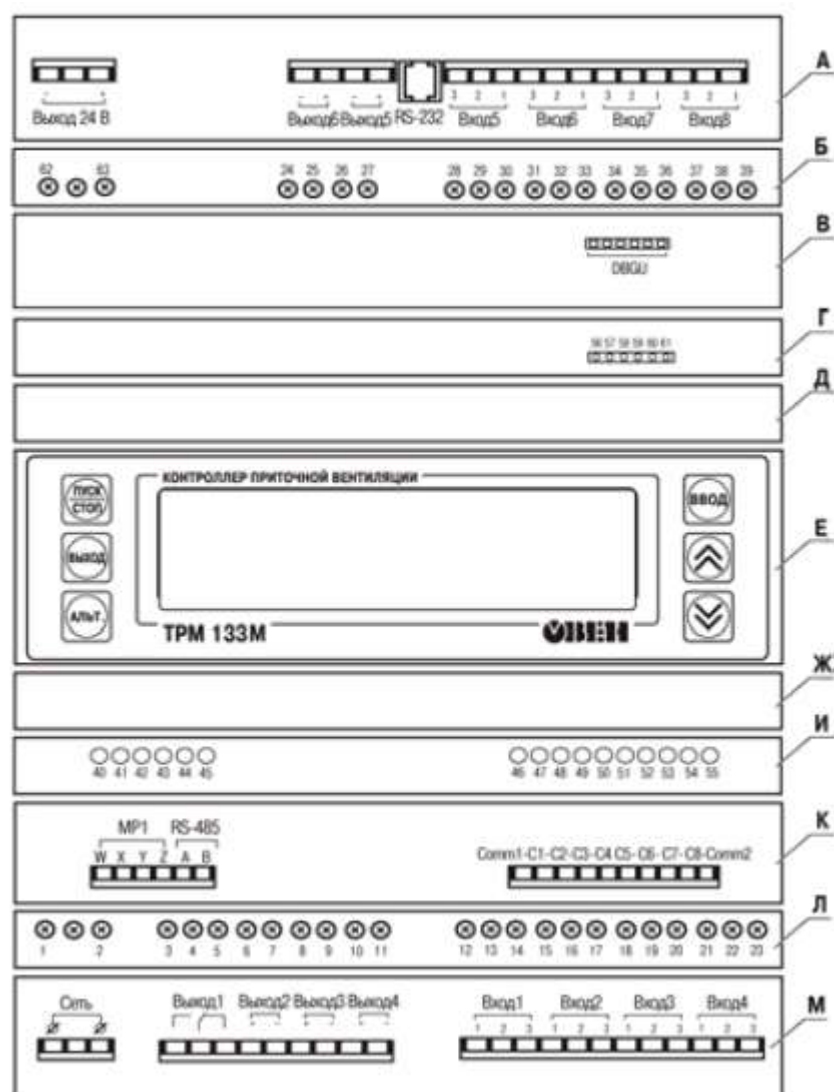


Рисунок 16 – Внешние связи, элементы индикации и управления

Корпус контроллера имеет ступенчатую трехуровневую форму. На лицевой (передней) плоскости корпуса (поверхность Е) расположены элементы индикации и управления, на задней поверхности корпуса расположены защелки крепления контроллера на DIN-рейке.

На верхних и нижних ступенчатых поверхностях корпуса рационально (удобно для пользования) размещены разъемные соединения контроллера ТРМ133М, через которые осуществляется подключение всех внешних связей.

Примечание – Открывать корпус для подключения внешних связей не требуется.

На ступенчатых поверхностях корпуса располагаются:

поверхность А:

- порт интерфейса RS-232, предназначенный для реализации связи контроллера с ПК либо с панелью оператора. Подключение к этому порту осуществляется кабелем «Кабель КС 2», не входящим в комплект поставки и приобретаемым отдельно. Для подключения контроллера ТРМ133М к панели оператора используются кабели, рекомендуемые в документации на конкретную панель;

- клеммы встроенного источника питания 24 В (выходное напряжение), который может быть использован для питания активных аналоговых датчиков, дискретных входов, аналоговых выходов типа «И»;

- клеммные колодки для подсоединения двух выходов и четырех аналоговых входов;

поверхность В:

- клеммная колодка DBGU, предназначенная для обновления прошивки контроллера ТРМ133М. К клеммной колодке подсоединяется переходная плата для подключения кабеля «Кабель КС1» или «Кабель КС2».

поверхность К:

- клеммная колодка для подсоединения кабеля связи по интерфейсу RS-485;

- клеммные колодки восьми дискретных датчиков (входов);

- клеммная колодка кабеля связи для подключения модуля МР1

поверхность М:

- клеммные колодки для подсоединения цепей питания (сети), четырех выходов и четырех аналоговых входов;

поверхности Б, Г, И, Л:

- винтовые крепежные элементы фиксации установленных клемм.

На лицевой плоскости (поверхность Е) располагаются: ЖКИ и кнопки управления работой контроллера.

Двухстрочный 16-разрядный (2x16) ЖКИ предназначен для отображения цифровой и буквенной (знаки русского и латинского алфавитов) информации.

На индикаторе отображаются:

- информационные экраны режимов в рабочем состоянии;
- меню конфигурирования в режиме конфигурирования;
- пункты отладочного меню в отладочном состоянии.

Индикатор имеет подсветку лицевой панели, Изменение яркости подсветки задается в параметре «Конфигурация \ Доп. пар-ры \ Ярк. подств.ЖКИ», контрастность изображения регулируется с помощью параметра «Конфигурация \ Доп. пар-ры \ Контраст ЖКИ».

В контроллер встроена пленочная клавиатура с шестью кнопками. При нажатии кнопок звучит сигнал (подтверждение), который можно выключить с помощью программируемого параметра «Конфигурация \ Доп. пар-ры \ Звук кнопок».

2.6. Выбор датчика температуры

В качестве датчика температуры используется трехпроводной аналоговый преобразователь температуры WIKA T91.30.232, выходной сигнал которого составляет 0...10 В, что соответствует диапазону температур от 0 °С до плюс 100 °С. Напряжение питания – постоянное 24В.

Этот преобразователь отличается фиксированным диапазоном измерений в соответствии с запросом клиента, наличием потенциометров для подстройки нуля и диапазона измерений на месте эксплуатации. Точность, удовлетворяющая требованиям промышленности, помехоустойчивость и контроль состояния сенсора – важные особенности данного компактного преобразователя.

T91.30.232 преобразователи кассетного исполнения обладают специальной особенностью: вход датчика и аналоговый выход гальванически изолированы. По этой причине T91.30.232 идеален для быстрых измерений с неизолированными или основанными на металлической основе термопарами.

Внешний вид датчика температуры представлен на рисунке 17.



Рисунок 17 – Внешний вид датчика температуры

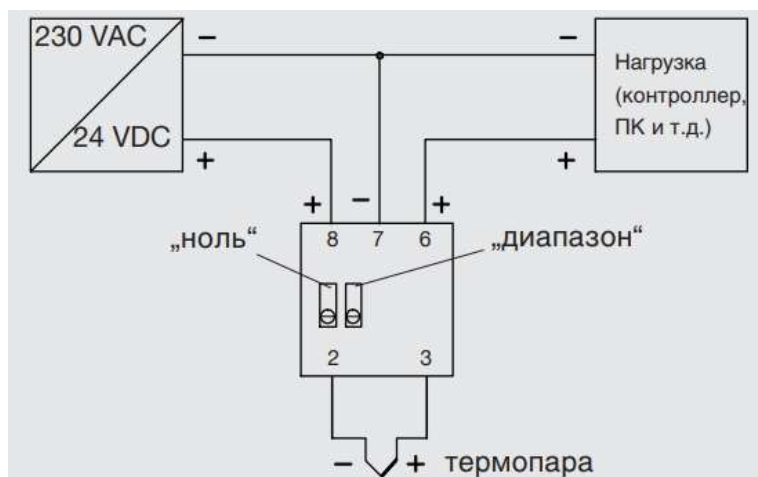


Рисунок 18 – Схема подключения датчика температуры

2.7. Расчет и выбор типа и сечения кабеля сети высокого напряжения и вспомогательного оборудования

2.7.1. Выбор кабелей

Судовые кабели и провода, которые проводят электроэнергию на судне к потребителям от источников, производят из мягкой медной проволоки, изоляция жилы которой бывает различной: из поливинилхлорида, резины разных типов, других пластмасс, минеральных изоляционных материалов с оболочкой из свинца и т. п. Кроме этого, кабели должны обладать броней, защитной панцирной оплеткой из стальной оцинкованной проволоки или иных стойких материалов для предотвращения механических повреждений (одновременно служащую и экраном от радиопомех). В судовых помещениях и отсеках кабель протягивается по особым мостам, кассетам и панелям, а на открытых участках – по газовым трубам или предохраняется металлическими кожухами [5].

При прокладке кабеля сквозь водонепроницаемые переборки и палубы устанавливаются специализированные переборочные или палубные сальники или кабельные коробки, привариваемые по наружной поверхности к переборкам или палубам. Для уплотнения пространства между кабелем и стенками кабельные коробки наполняются особыми массами.

По номинальному току двигателя и для таких условий выбираем экранированный кабель для судов и морских платформ. TOXFREE MARINE XTCuZ1-K (AS) сечением 2,5 мм². Допустимый ток кабеля равен 15 А. Для сети высокого напряжения выбирается кабель такой же марки, сечением 25 мм² допустимый ток которого, равен 100 А [23].

2.7.2. Выбор клеммных зажимов

Клемные зажимы широко применяются как в бытовой электропроводке, так и в промышленном монтаже в местах, требующих повышенной надежности и виброустойчивости. В данной работе выбраны клемные зажимы фирмы «WAGO» (Германия). Фирма «WAGO» – мировой лидер в производстве клемм и разъемов, с использованием пружинной технологии соединения. В настоящее

время на российском рынке присутствует широкая номенклатура продукции «WAGO».

Выбираем клеммы для установки на DIN-рельс с зажимом CAGE CLAMP фирмы WAGO (рисунок 18) с боковым подключением:



Рисунок 18 – Клемма фирмы WAGO

2.7.3. Выбор шкафа управления

Современные системы вентиляции оснащаются автоматическим управлением параметрами воздушной среды. Оборудование вентиляции системами автоматики позволяет снижать затраты на поддержание заданных параметров воздуха в обслуживаемых помещениях. Система автоматического управления вентиляцией предотвращает аварийные ситуации, своевременно оповещает оператора об угрозе их появления. В шкафах управления системой вентиляции предусмотрена блокировка при срабатывании пожарной сигнализации.

Для создания систем автоматики требуются следующие составляющие:

- датчики и исполнительные элементы, непосредственно контролирующие и управляющие работой механических узлов вентиляционного оборудования;
- специализированные контроллеры, осуществляющие сбор информации от датчиков и осуществляющие управление исполнительными устройствами в соответствии с алгоритмами, обеспечивающими поддержание параметров системы и безопасную эксплуатацию вентиляционного оборудования;
- средства взаимодействия системы автоматики с оператором.

Элементы автоматического управления вентиляцией конструктивно размещаются в шкафах управления. Шкафом управления называется устройство, благодаря которому осуществляется централизованный контроль над технологическими процессами в предприятиях различного назначения (электростанции системы газоснабжения, водоснабжения, электроснабжение и пр.). Это некий пульт, с располагающимися на нем приборами измерения и контроля всевозможных параметров, световыми индикаторами, ключами управления и мнемоническими схемами. Контроль, посредством шкафов, может производиться запрограммированными микроконтроллерами (автоматически) и при помощи ручной регулировке рабочих параметров. На лицевой панели шкафов автоматики размещаются органы управления системой и вся необходимая индикация. К каждому шкафу прилагается подробная инструкция с рекомендациями по монтажу и наладке, прилагаются необходимые чертежи и схемы, а также паспорт и сертификат на установленное оборудование.

Управляющие модули, расположенные в шкафу автоматики, имеют стандартный набор опций для управления системами вентиляции.

Вот примерный набор опций шкафа управления:

- ручной и дистанционный пуск и остановка вентиляторов;
- защита вентиляторов от перегрузок;
- плавное или ступенчатое регулирование скоростей вентиляторов;
- управление приводом отсекающей воздушной заслонки;
- установка и конфигурирование параметров системы вентиляции пользователем;
- летняя и зимняя компенсация установленной температуры;
- блокировка нагревателя при выключении вентилятора;
- защита от размораживания водяного калорифера по обратной воде и по воздуху;
- управление работой циркуляционного насоса и управление расходом теплоносителя в калорифере;

- управление работой компрессоров кондиционеров при использовании фреонового охладителя;
- контроль и управление тепловыми насосами, теплообменниками, агрегатами увлажнения или осушения.

Все показатели, необходимые для качественного воздухообмена, сохраняются на заданный промежуток времени. Используются вентиляционные шкафы в системах с водяным и электрическим обогревом, системах с рекуперацией и рециркуляцией тепла, а также, в вытяжных, приточных и подпорных системах.

Сегодня щиты управления приточной, вытяжной и приточно-вытяжной вентиляциями предоставляются в огромном ассортименте, поэтому можно подобрать шкафы для любых типов и сочетаний оборудования. Большинство из них выполнены по стандартной схеме работы и включают в себя преобразователи частоты, контроллеры, рубильники и пускатели, выключатели, контакторы, защитные элементы, реле и световые индикаторы различных режимов. Каждое составляющее схемы устройства играет свою роль в общей работе пульта управления.

Так, например, благодаря преобразователям частоты можно изменять скорость вращения вентиляторных лопастей и запускать, тем самым, механизмы в щадящем режиме работы (без рывков и резких перепадов). Так будет уменьшаться потребление электроэнергии, сокращаться процент возможной перегрузки, увеличиваться безопасность работы системы и продлеваться общий срок ее эксплуатации.

Контроллеры бывают дискретные и аналоговые, нужны они для разрешения возникающих в работе систем вентиляции проблем. Используя контроллеры, в любой момент можно быстро отреагировать на малейшее отклонение от нормы в работе любого элемента системы и тут же исправить его.

Блок управления вентиляцией, изначально, рассчитан и готов к непрерывной работе в температурном диапазоне от -10 до +55 °С. Производятся корпуса шкафов для управления из металлических и пластиковых материалов,

со степенями защиты IP31 и IP45. Работают при заземлении и частоте сетевого тока 50 Гц под напряжением 220 или 380 В.

Из-за таких технических показателей пульты управления приточной вентиляции устанавливаются в специализированных помещениях, отдаленных от источников влаги, пыли, отопительных приборов и химических процессов.

Категорически запрещается использование блоков при увеличенной влажности помещения, возможном намокании щита, или попадании на него прямых солнечных лучей. Проявление радио магнитных помех, возле устройства, также, лучше исключить.

Исходя из всего вышесказанного, можно сделать вывод, что для пульта управления вентиляционными системами лучше всего подойдет специально оборудованная под него комната – диспетчерская или электрощитовая.

Подбор шкафа управления осуществляется по номинальному току электропривода.

Электропривод судового вентилятора имеет номинальный рабочий ток $I_p = 6,7 \text{ А}$ и кратность пускового тока $(I_{\pi} / I_p) = 7$.

Отсюда пусковой ток:

$$I_{\pi} = 6,7 \times 7 = 46,9 \text{ А.}$$

Для управления вентиляцией выбран тип шкафа ШК1101-ХХ-БУСО.

Необходимо подобрать для выбранного шкафа исполнение по номинальному току.

По условию:

$$I_{\text{ном}} > I_p;$$

$$I_{\text{ном}} > 6,7 \text{ А}$$

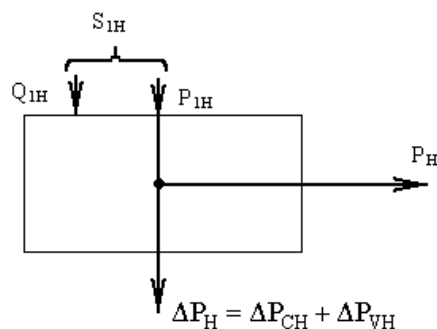
Соответственно, по таблице вариантов исполнения, выбираем исполнение шкафа ШК1101-30-БУСО:

Параметры шкафа показаны в таблице 6.

Таблица 6 – Параметры шкафа управления ШК1101-30-БУСО

Тип шкафа	Обозначение шкафа		Номинальный ток шкафа $I_{ном}, A$	Габаритные размеры	Максимальное сечение силовых проводов, мм ²	Максимальное сечение проводов связи, мм ²
	Степень защиты оболочки IP54	Степень защиты оболочки IP31				
ШК1101-30-БУСО	СВТ29.401 .000-05	СВТ29.41 1.000-05	10	600x500x250	6.0	2.5

2.8. Определение расхода электроэнергии за цикл работы, среднецикловых значений КПД и коэффициента мощности.



Полная мощность:

$$\Delta P_H = P_H \left(\frac{1}{\eta_H} - 1 \right) = 3000 \cdot \left(\frac{1}{0,82} - 1 \right) = 658,536 \text{ Вт.}$$

Переменная составляющая потери мощности:

$$\begin{aligned} \Delta P_{VH} &= M_H (\omega_0 - \omega_H) \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2'} \right) = \\ &= 20,318 \cdot (157,08 - 147,58) \cdot \left(1 + \frac{2,299}{2,248} \right) = 389,9 \text{ Вт.} \end{aligned}$$

Постоянная составляющая потери мощности:

$$\Delta P_{CH} = \Delta P_H - \Delta P_{VH} = 658,536 - 389,9 = 268,636 \text{ Вт.}$$

Коэффициент потерь мощности:

$$a = \frac{\Delta P_{CH}}{\Delta P_{VH}} = \frac{268,636}{389,9} = 0,69.$$

Активная энергия

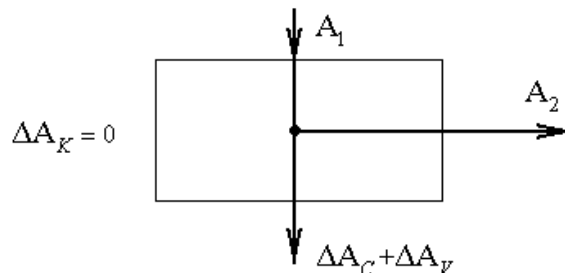
Для первой ступени:

Полезный расход энергии (механическая работа)

$$A_2 = M_C \cdot \omega_C \cdot t_C = 20,318 \cdot 147,655 \cdot 60 = 1,8 \cdot 10^5 \text{ [Вт} \cdot \text{с]},$$

где ω_C , t_C – соответственно угловая скорость и время установившегося режима.

Постоянная составляющая потери энергии:



$$\Delta A_C \approx \Delta P_{CH} \cdot \left(\frac{\omega_C}{\omega_H} \right)^2 \cdot t_C = 268,636 \cdot \left(\frac{147,655}{157,08} \right)^2 \cdot 60 = 14241,9 \text{ [Вт} \cdot \text{с]}.$$

Приведенный фазный ток ротора в установившемся режиме:

$$I_2' = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{S_C} \right)^2 + (X_K)^2}} = \frac{220}{\sqrt{\left(2,299 + \frac{2,248}{0,06} \right)^2 + (7,47)^2}} = 5,45 \text{ А.}$$

Переменная составляющая потери энергии:

$$\Delta A_V = 3 \cdot [I_0^2 \cdot R_1 + (I_2')^2 \cdot (\epsilon \cdot R_1 + R_2')] \cdot t_C,$$

где ϵ – поправочный коэффициент,

$$\epsilon = 1 + \frac{2 \cdot I_0 \cdot X_K}{U_1} = 1 + \frac{2 \cdot 2,089 \cdot 7,47}{220} = 1,142,$$

$$\Delta A_V = 3 \cdot [2,089^2 \cdot 2,299 + 5,45^2 \cdot (1,142 \cdot 2,299 + 2,248)] \cdot 60 = 2,7 \cdot 10^4 \text{ [Вт} \cdot \text{с]}.$$

Потребляемая из сети энергия:

$$A_1 = A_2 + \Delta A_C + \Delta A_V = 1,8 \cdot 10^5 + 14241,9 + 2,7 \cdot 10^4 = 2,2 \cdot 10^5 \text{ [Вт} \cdot \text{с]}.$$

Для второй ступени:

Полезный расход энергии (механическая работа):

$$A_2 = M_C \cdot \omega_C \cdot t_C = 20,318 \cdot 147,655 \cdot 90 = 2,7 \cdot 10^5 \text{ [Вт} \cdot \text{с]},$$

где ω_c , t_c – соответственно угловая скорость и время установившегося режима.

Постоянная составляющая потери энергии:

$$\Delta A_C \approx \Delta P_{CH} \cdot \left(\frac{\omega_c}{\omega_H}\right)^2 \cdot t_c = 268,636 \cdot \left(\frac{147,655}{157,08}\right)^2 \cdot 90 = 2,13 \cdot 10^4 \text{ [Вт с]}.$$

Приведенный фазный ток ротора в установившемся режиме:

$$I_2' = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{S_C})^2 + (X_K)^2}} = \frac{220}{\sqrt{(2,299 + \frac{2,248}{0,06})^2 + (7,47)^2}} = 5,45 \text{ [A]},$$

Переменная составляющая потери энергии:

$$\Delta A_V = 3 \cdot [I_0^2 \cdot R_1 + (I_2')^2 \cdot (\epsilon \cdot R_1 + R_2')] \cdot t_c,$$

где ϵ – поправочный коэффициент,

$$\epsilon = 1 + \frac{2 \cdot I_0 \cdot X_K}{U_1} = 1 + \frac{2 \cdot 2,089 \cdot 7,47}{220} = 1,142,$$

$$\Delta A_V = 3 \cdot [2,089^2 \cdot 2,299 + 5,45^2 \cdot (1,142 \cdot 2,299 + 2,248)] \cdot 90 = 4,17 \cdot 10^4 \text{ [Вт с]}.$$

Потребляемая из сети энергия:

$$A_1 = A_2 + \Delta A_C + \Delta A_V = 2,7 \cdot 10^5 + 2,13 \cdot 10^4 + 4,17 \cdot 10^4 = 3,33 \cdot 10^5 \text{ [Вт с]}.$$

Реактивная энергия

Потребление реактивной энергии за цикл:

$$\sum A_p = \sum_{i=1}^n 3 [I_0^2 \cdot (X_1 + X_\mu) + (I_2')^2 \cdot (X_1 + X_2')] \cdot t_{c,i},$$

$$\sum A_p = 3,12 \cdot 10^5 \text{ В} \cdot \text{А},$$

где n – число установившихся режимов;

X_μ – индуктивное сопротивление намагничивающего контура двигателя.

$$X_\mu \approx \sqrt{\left(\frac{U_1}{I_0}\right)^2 - R_1^2 - X_1}.$$

Энергетические показатели электропривода

Энергетический (среднецикловой) к.п.д. электропривода:

$$\eta_o = \frac{\sum A_2}{\sum A_1} \cdot 100\% = \frac{(1,8 + 2,7) \cdot 10^5}{(2,2 + 3,33) \cdot 10^5} \cdot 100\% = 81,3\%.$$

где $\sum A_2$ – суммарный расход полезной энергии за цикл;

$\sum A_1$ – суммарное потребление энергии из сети за цикл.

Энергетический (среднецикловой) коэффициент мощности электропривода:

$$\cos \varphi_s = \frac{\sum A_1}{\sqrt{(\sum A_1)^2 + (\sum A_p)^2}} = \frac{(2,2 + 3,33) \cdot 10^5}{\sqrt{(2,2 \cdot 10^5 + 3,33 \cdot 10^5)^2 + (3,12 \cdot 10^5)^2}} = 0,87.$$

2.9. Техничко-экономическое обоснование, безопасность труда, экологические, эстетические аспекты при проектировании электропривода

Техничко-экономическое обоснование электропривода

Одной из основных задач Правительства России – ориентирование на производство значительных и наукоемких технологий, которые обеспечивают производство конкурентоспособной продукции народно-хозяйственного предназначения. Это вызывает в качестве первоочередной – решение задачи уменьшения энергоемкости и производства и сферы услуг. Часть энергозатрат в себестоимости продукции и сфере услуг составляет приблизительно 20% – 30%, что значительно больше, чем в странах с развитой рыночной экономикой.

Одной из главных причин этого положения показываются применяемые в народном хозяйстве энергорасточительные технологии, приборы и оборудование. По отметкам специалистов, введение энергосберегающих технологий и оборудования содействует уменьшению потребностей.

Мировая и отечественная инженерная практика представила, что максимальный экономический эффект при осуществлении программ энергосбережения предоставляет переоснащение энергетических сетей и коммуникаций механизмами частотно регулируемого электропривода.

Обычно, во многих отраслях народного хозяйства, в том числе ЖКХ применены электродвигатели с значительным запасом по мощности в расчете на наибольшую продуктивность оборудования, несмотря на то, что часы пиковой

нагрузки составляют всего 15%-20% общего времени его работы. В итоге электродвигатели с неизменной скоростью вращения потребляют среднесуточно существенно, временами до 60%, больше электроэнергии, чем это нужно.

Из этого вытекает, что главные запасы сбережения электрической энергии заключены в широкомасштабном употреблении энергосберегающих электроприводов. Наиболее решительным, предоставляющим высокую экономию электроэнергии способом (до 30% – 50%) обнаруживается снабжение электродвигателей преобразователями частоты, которые позволяют регулировать частоту вращения двигателей в зависимости от реальной нагрузки.

Электропривод АД с КЗ ротором на основе преобразователя частоты имеет следующие преимущества:

- Значительная точность регулирования;
- Экономия электроэнергии в случае переменной нагрузки (т.е. работы электрического двигателя с неполной нагрузкой);
- Равный максимальному пусковой момент;
- Способность удалённой диагностики привода по промышленной сети;
- Распознавание выпадения фазы для входной и выходной цепей;
- Учёт моточасов;
- Увеличенный ресурс оборудования;
- Снижение гидравлического сопротивления трубопровода по причине отсутствия регулирующего клапана;
- Плавный пуск двигателя;
- ЧРП обычно содержит в себе ПИД-регулятор и может быть подключен напрямую к датчику регулируемой величины (например, давления);
- Управляемое торможение и автоматический перезапуск при пропадании сетевого напряжения;
- Подхват вращающегося электродвигателя;
- Стабилизация скорости вращения при изменении нагрузки;
- Значительное уменьшение акустического шума электродвигателя;

- Дополнительная экономия электроэнергии от оптимизации возбуждения электрического двигателя;
- Позволяют заменить собой автоматический выключатель.

Безопасность труда

Важнейшим фактором для оценки проектируемой системы ПЧ-АД является степень безопасности труда и меры по обеспечению безопасных условий труда. Это организационные и технические мероприятия, основным содержанием которых является профилактика травматизма, мероприятия производственной санитарии, основное содержание которой – обеспечение санитарно-гигиенических условий труда, мероприятия по обеспечению пожарной безопасности [24].

На всех опасных местах на судне нужно вывешивать видимые плакаты, наносить предупредительные надписи и знаки безопасности. Инструкции, плакаты и предупредительные надписи по ТБ составляются на русском и на национальном языках республики, к порту которой приписано судно, причем оба текста должны быть одинаковыми.

Обычно, рядом с механизмами, устройствами и установками должны находиться инструкции по безопасной их эксплуатации.

Каждый член экипажа, поступающий на судно, обязан пройти вводный инструктаж по ТБ по ГОСТ 12.0.004-78 «Организация обучения работающих безопасности труда». Дальше с поступающим проводится первичный инструктаж на рабочем месте в два этапа. Причем, второй этап проводится на рабочем месте с личным представлением неопасных методов деятельности. Затем в течение двух – пяти смен проводятся работы на рабочем месте под присмотром квалифицированного рабочего; затем регистрируется допуск к самостоятельной работе в судовом журнале по технике безопасности.

Не менее одного раза в три месяца руководители судовых служб проводят вторичный инструктаж по технике безопасности всех своих подчиненных.

С целью обеспечения нормальных и безопасных условий труда большое значение имеет соблюдение правил по технике безопасности и норм производственной санитарии [25].

При монтаже и эксплуатации промышленной установки ПЧ-АД возможно поражение электрическим током в следующих случаях:

- при случайном прикосновении к токоведущим частям силовых каналов установки;
- пробой изоляции;
- неумелое пользование измерительными приборами;
- при работе с ручным электроинструментом;
- при производстве пайки под напряжением.

Чтобы предотвратить возможные случаи травматизма необходимо выполнить и хорошо знать определенные правила.

Перед началом работы необходимо проверить исправность оборудования и измерительных приборов. Если для работы нужен прибор, который незнаком, то предварительно нужно ознакомиться с инструкцией по эксплуатации.

На рабочем месте должен быть порядок. Обязательно нужно проверить подключение приборов к защитному заземлению. Когда прекращаются работы, хотя бы временно, следует отключать питание схем и паяльника. Необходимо постоянно следить за исправностью и наличием изоляции на используемых элементах (бокорезы, пассатижи, пинцет) и приспособлениях. Категорически запрещается производить пайку и монтаж схемы под напряжением.

Во всех случаях возникновения пожара в помещении нужно немедленно вызвать пожарную команду, а до ее прибытия надо:

1. Отключит питающие напряжения.
2. Выключить вентиляцию.
3. Использовать для тушения пожара все имеющиеся первичные средства пожаротушения (огнетушители, песок и т.д.).
4. Произвести эвакуацию людей и оборудования в безопасное место, согласно плану эвакуации.

Экологические и эстетические аспекты при проектировании электропривода

Охрана окружающей среды является одним из самых важных факторов человеческой деятельности. При работе с программным обеспечением, в частности, проверке режимов работы электропривода, можно внести значительный вклад в охрану окружающей среды. При проверке работы электропривода в статическом и динамическом режимах можно увидеть график потребляемой системой мощности. И разработчик уже на начальном этапе проектирования может значительно сократить потребление мощности электроприводом. А это, как следствие ведет к экономии электроэнергии и делает эксплуатацию электропривода более дешёвой.

Учитывая, что на современных промышленных предприятиях более 80% потребляемой энергии приходится на долю электроприводов, используя современные методы расчёта можно существенно снизить потребляемую предприятием мощность и, как следствие, привести к экономии природных ресурсов, используемых для выработки электроэнергии. К ним относят: нефть, газ, каменный уголь. Понятно, что это невозполнимые ресурсы. Приводят следующие сроки обеспеченности человечества этими природными ресурсами: нефть 30 лет, уголь 500 лет, газ 1000 лет. Переход на новую технологию производства, позволяющую возможно более полно и комплексно использовать первичное сырьё и экономить электроэнергию выступает как одно из ведущих направлений технического процесса.

На начальном этапе разработки уже возможно значительное уменьшение вибрационных и шумовых эффектов работы электропривода. При применении в разрабатываемом электроприводе достижений научных разработок, современной элементной базы возможны значительные снижения габаритов, массы, стоимости электропривода. Это в конечном итоге приводит к значительной экономии материалов, природных ресурсов, благоприятно сказывается на здоровье персонала, обслуживающего электропривод.

Данная система ПЧ-АД работает на электроэнергии, и, следовательно, не загрязняет окружающую среду вредными выбросами.

2.10. Оценка надежности электропривода

Расчет будет производиться на основании коэффициентов, полученных на основании анализа статистических данных выхода из строя различных узлов, входящих в системы электроприводов. На рисунке 19 представлено разделение элементов на блоки.

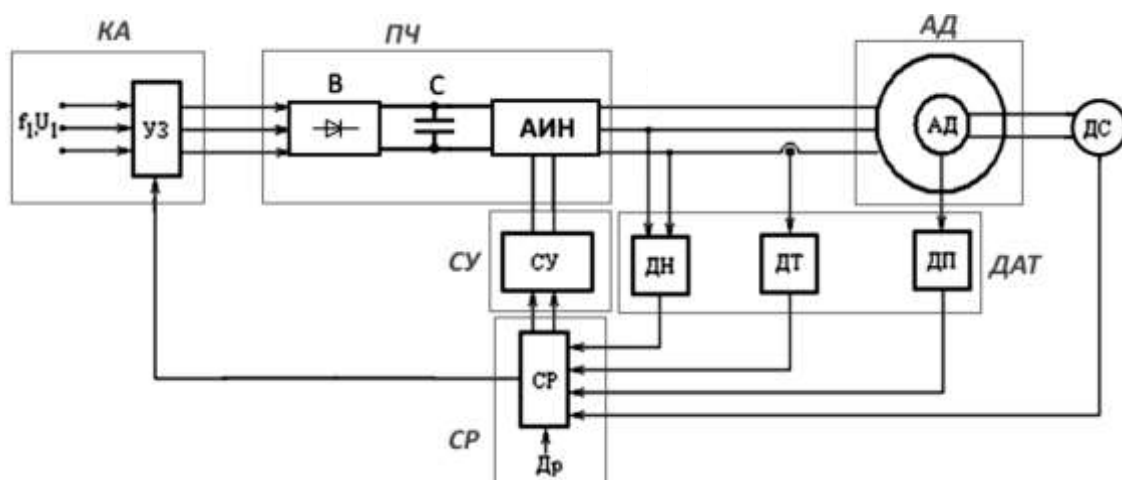


Рисунок 19 – Функциональная схема управления с обозначениями узлов

Расчет эффективности отдельных узлов

Узел КА (рисунок 20)

Так как элементы соединены последовательно, эквивалентный элемент будет равен произведению всех в него состоящих.

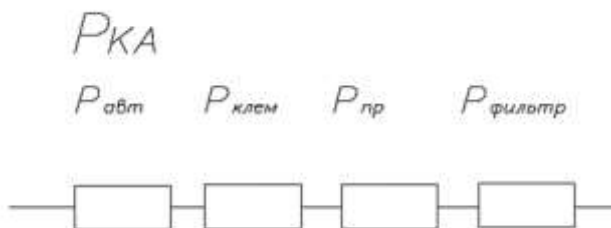


Рисунок 20 – Узел коммутационной аппаратуры

где $P_{ка}$ – вероятность безотказной работы коммутационной аппаратуры;

$P_{авт} = 0,998$ – автоматический выключатель;

$P_{клем} = 0,992$ – клеммы;

$P_{np} = 0,999$ – проводники;

$P_{фильтр} = 0,993$ – фильтр.

Отсюда:

$$P_{ка} = P_{клем} \cdot P_{np} \cdot P_{фильтр} \cdot P_{авт} = 0,992 \cdot 0,999 \cdot 0,993 \cdot 0,998 = 0,982.$$

Преобразователь частоты (рисунок 21)

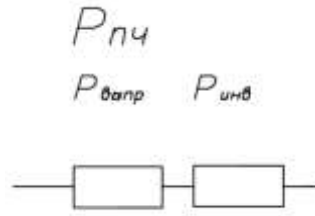


Рисунок 21 – Узел ПЧ

$P_{выпр} = 0,985$ – выпрямитель;

$P_{инв} = 0,982$ – инвертор;

$$P_{пч} = P_{выпр} \cdot P_{инв} = 0,985 \cdot 0,982 = 0,967.$$

Система управления

$$P_{су} = 0,984.$$

Асинхронный двигатель

$$P_{ад} = 0,982.$$

Датчики

$$P_{дат} = 0,992.$$

В результате рассчитывается полная вероятность безотказной работы системы:

$$P = P_{ка} \cdot P_{пч} \cdot P_{су} \cdot P_{ад} \cdot P_{дат} = 0,982 \cdot 0,967 \cdot 0,984 \cdot 0,982 \cdot 0,992 = 0,91.$$

3. РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ РАЗОМКНУТОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

3.1. Расчёт естественных характеристик $\omega = f(I)$, $\omega = f(M)$ системы регулируемого электропривода

Синхронная угловая скорость вращения двигателя:

$$\omega_c = \frac{\pi \cdot n_c}{30} = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157,08 \text{ рад/с.}$$

Номинальная частота вращения двигателя:

$$n_{\text{дв.н}} = (1 - S_n) \cdot n_c = (1 - 0,06) \cdot 1500 = 1410 \text{ об/мин.}$$

Номинальная угловая скорость:

$$\omega_{\text{дв.н}} = (1 - S_n) \cdot \omega_c = (1 - 0,06) \cdot 157,08 = 147,655 \text{ рад/с.}$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв}}}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{3000}{147,655} = 20,318 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Тогда номинальный фазный ток:

$$I_{\text{фн}} = \frac{P_{\text{дв}}}{m \cdot U_{\text{ф}} \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n} = \frac{3000}{3 \cdot 220 \cdot 0,83 \cdot 0,82} = 6,679 \text{ А.}$$

Для расчетов динамических и статических характеристик АД найдем параметры схемы замещения. Т – образная схема замещения АД для одной фазы приведена на рисунке 22.

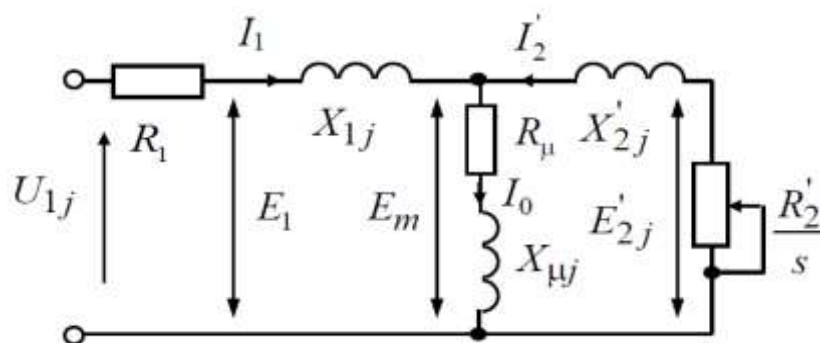


Рисунок 22 – Схема замещения АД

АД создаются таким образом, чтобы наибольший коэффициент полезного действия достигался при загрузке приблизительно на 10 – 15 % меньше номинальной. Коэффициент мощности при равной нагрузке существенно различается от мощности при номинальной нагрузке. Это отличие очень зависит от мощности двигателя и для известных серий АД с необходимой для практики точностью повинуются зависимости, показанной на рисунке 23.

Коэффициент мощности при частичной загрузке:

$$\cos \varphi_{p^*} = 0,98 \cdot \cos \varphi_n = 0,98 \cdot 0,83 = 0,813.$$

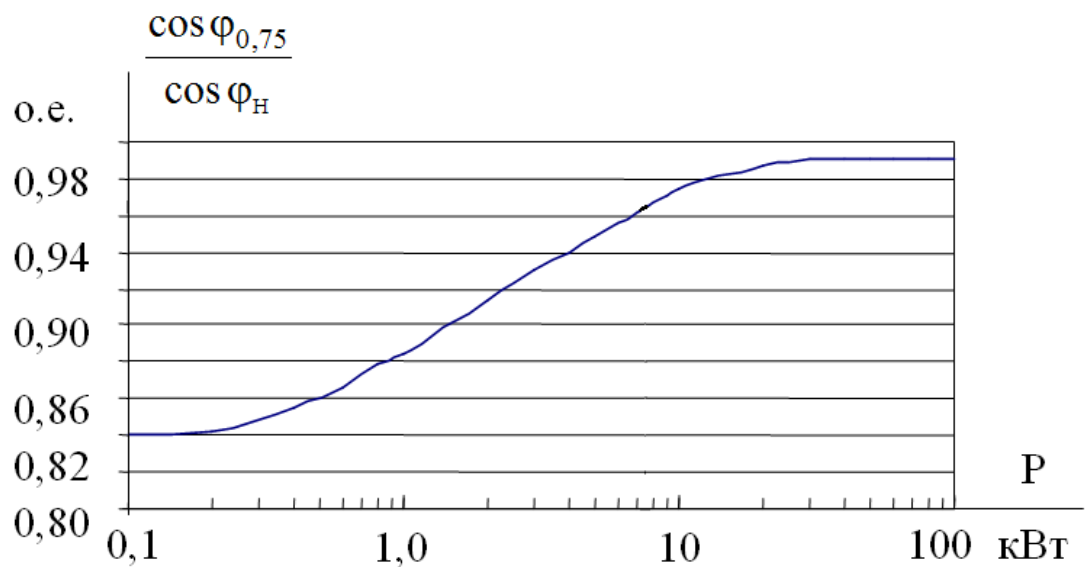


Рисунок 23 – Зависимость $\cos \varphi_{0,75} / \cos \varphi_n$ от мощности асинхронных двигателей

Коэффициент загрузки двигателя берем $p^* = 0,77$ вследствие сказанных раньше свойств проектирования АД.

Тогда ток статора двигателя при частичной загрузке равен:

$$I_{11} = \frac{p^* \cdot P_{\text{дв}}}{m \cdot U_{\text{ф}} \cdot \cos \varphi_{p^*} \cdot \eta_n} = \frac{0,77 \cdot 3000}{3 \cdot 220 \cdot 0,83 \cdot 0,82} = 5,247 \text{ А.}$$

Ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left(\frac{p^* \cdot I_{\text{фн}} \cdot (1 - S_{\text{н}})}{1 - p^* \cdot S_{\text{н}}} \right)^2}{1 - \left(\frac{p^* \cdot (1 - S_{\text{н}})}{1 - p^* \cdot S_{\text{н}}} \right)^2}} = \sqrt{\frac{5,247^2 - \left(\frac{0,77 \cdot 6,679 \cdot (1 - 0,06)}{1 - 0,77 \cdot 0,06} \right)^2}{1 - \left(\frac{0,77 \cdot (1 - 0,06)}{1 - 0,77 \cdot 0,06} \right)^2}} = 2,089 \text{ А.}$$

Из формулы Клосса следует соотношение для расчета критического скольжения:

$$S_{\text{кр}} = S_{\text{н}} \cdot \frac{k_{\text{max}} + \sqrt{k_{\text{max}}^2 - (1 - 2 \cdot S_{\text{н}} \cdot \beta \cdot (k_{\text{max}} - 1))}}{1 - 2 \cdot S_{\text{н}} \cdot \beta \cdot (k_{\text{max}} - 1)} =$$

$$= 0,06 \cdot \frac{2,2 + \sqrt{2,2^2 - (1 - 2 \cdot 0,06 \cdot 1 \cdot (2,2 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,06 \cdot 1 \cdot (2,2 - 1)} = 0,294 \text{ о.е.},$$

где в первом приближении коэффициент $\beta = 1$

Момент критический двигательного режима:

$$M_{\text{кр}} = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2}{2 \cdot \omega_{\text{н}} \cdot C_1 \cdot \left[R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_{\text{к}}^2} \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 157,08 \cdot 1,022 \cdot \left[2,299 + \sqrt{2,299^2 + 7,47^2} \right]} = 44,699 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Критическое скольжение:

$$S_{\text{кр}} = \pm \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_{\text{к}}^2}} = \pm \frac{2,248}{\sqrt{2,299^2 + 7,47^2}} = \pm 0,288.$$

Максимальный момент двигателя:

$$M_{\text{max}} = k_{\text{max}} \cdot M_{\text{н}} = 2,2 \cdot 20,318 = 44,699 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Минимальный момент двигателя:

$$M_{\text{min}} = k_{\text{min}} \cdot M_{\text{н}} = 1,6 \cdot 20,318 = 32,508 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Прежде чем производить расчёты индуктивных и активных сопротивлений (параметров схемы замещения), обмоток ротора и статора определим следующие коэффициенты:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{\Phi H}} = 1 + \frac{2,089}{2 \cdot 7 \cdot 6,679} = 1,022;$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{\Phi}^2 \cdot (1 - S_H)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{\max} \cdot P_{\text{дв}}} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,06)}{2 \cdot 1,022 \cdot 2,2 \cdot 3000} = 10,114.$$

Активное сопротивление обмотки статора определяется по выражению:

$$R_1 = C_1 \cdot R'_2 \cdot \beta = 1,022 \cdot 2,248 \cdot 1 = 2,299 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора АД:

$$R'_2 = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{S_{\text{кр}}} \right) \cdot C_1} = \frac{10,114}{\left(1 + \frac{1}{0,294} \right) \cdot 1,022} = 2,248 \text{ Ом.}$$

Параметр γ , для определения сопротивления КЗ:

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{S_{\text{кр}}^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,294^2} - 1^2} = 3,25;$$

$$X_k = \gamma \cdot C_1 \cdot R'_2 = 3,25 \cdot 1,022 \cdot 2,248 = 7,47 \text{ Ом.}$$

Тем временем, индуктивное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора, приблизительно может быть рассчитано:

$$X'_2 = 0,58 \cdot \frac{X_k}{C_1} = 0,58 \cdot \frac{7,47}{1,022} = 4,238 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление обмотки статора:

$$X_1 = 0,42 \cdot X_k = 0,42 \cdot 7,47 = 3,137 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление цепи намагничивания находится через значение электродвижущей силы (ЭДС) обмотки статора:

$$E_1 = \sqrt{\left(U_{\Phi} \cdot \cos \varphi_H - R_1 \cdot I_{\Phi H} \right)^2 + \left(U_{\Phi} \cdot \sin \varphi_H + X_1 \cdot I_{\Phi H} \right)^2} =$$

$$= \sqrt{\left(220 \cdot 0,83 - 2,299 \cdot 6,679 \right)^2 + \left(220 \cdot 0,558 + 3,137 \cdot 6,679 \right)^2} = 220,478 \text{ В.}$$

Индуктивное сопротивление намагничивания:

$$X_m = \frac{E_1}{I_0} = \frac{220,478}{2,089} = 105,563 \text{ Ом.}$$

Индуктивность обмотки статора, определенная потоками рассеяния:

$$L_{1\delta} = \frac{X_1}{2\pi f} = \frac{3,137}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 9,986 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, определенная потоками рассеяния:

$$L'_{2\delta} = \frac{X'_2}{2\pi f} = \frac{4,238}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 13 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Результирующая индуктивность, определенная магнитным потоком в воздушном зазоре, формируемым суммарным воздействием полюсов статора (индуктивность контура намагничивания):

$$L_m = \frac{X_m}{2\pi f} = \frac{105,563}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,336 \text{ Гн.}$$

Найденные параметры схемы замещения электродвигателя сведены в таблице 7.

Таблица 7 – Параметры схемы замещения электродвигателя АИР100S4

$R_1, \text{Ом}$	$X_1, \text{Ом}$	$L_{1\delta}, \text{Гн}$	$X_m, \text{Ом}$	$L_m, \text{Гн}$	$R'_2, \text{Ом}$	$X'_2, \text{Ом}$	$L'_{2\delta}, \text{Гн}$	$X_k, \text{Ом}$
2,299	3,137	$9,986 \cdot 10^{-3}$	105,563	0,336	2,248	4,238	$13 \cdot 10^{-3}$	7,47

Механическая характеристика АД рассчитывается по формуле:

$$M = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2 \cdot R'_2}{\omega_n \cdot s \cdot \left[\left(R_1 + R'_2 \cdot s^{-1} \right)^2 + \left(X_{1\sigma} + X'_{2\sigma} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 2,248}{157,08 \cdot s \cdot \left[\left(2,299 + 2,248 \cdot s^{-1} \right)^2 + \left(3,137 + 4,238 \right)^2 \right]}.$$

Механическая характеристика АД изображена на рисунке 24. Она справедлива в области номинальных скоростей.

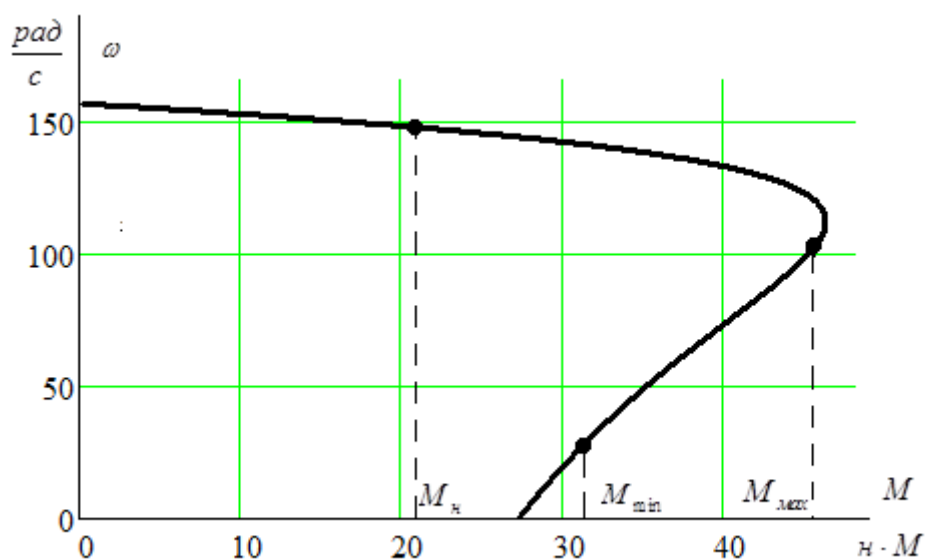


Рисунок 24 – Механическая характеристика асинхронного электродвигателя

Зависимость тока ротора I'_2 , приведенного к обмотке статора, от скольжения S рассчитывается нижеуказанным образом:

$$I'_2(s) = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + (X_1 + X'_2)^2}} = \frac{220}{\sqrt{\left(2,299 + \frac{2,248}{s}\right)^2 + (3,137 + 4,238)^2}} \text{ A}.$$

График электромеханической характеристики $I'_2 = f(s)$ изображен на рисунке 25.

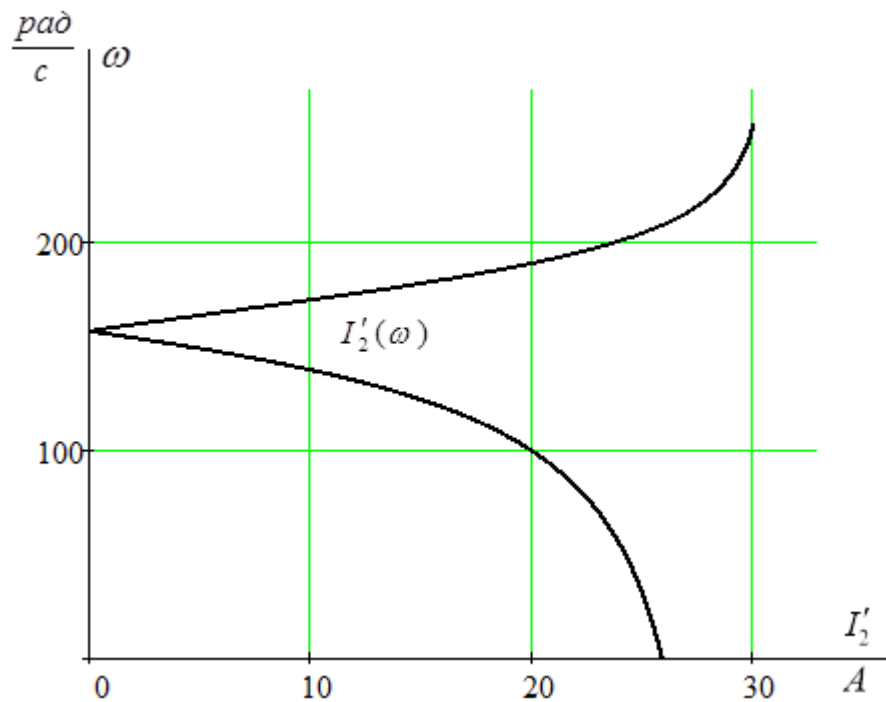


Рисунок 25 – График электромеханической характеристики тока обмотки ротора $I'_2 = f(s)$

Для построения электромеханической характеристики тока обмотки статора воспользуемся нижеследующим выражением:

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I'_2(\omega)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I'_2(\omega) \cdot \sin \varphi_{2H}} =$$

$$= \sqrt{2,089^2 + I'_2(\omega)^2 + 2 \cdot 2,089 \cdot I'_2(\omega) \cdot \sin \varphi_{2H}},$$

$$\text{где } \sin \varphi_{2H} = \frac{X_k}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + X_k^2}} = \frac{7,47}{\sqrt{\left(2,299 + \frac{2,248}{s}\right)^2 + 7,47^2}}$$

Электромеханические характеристики двигателя изображены на рисунке 26.

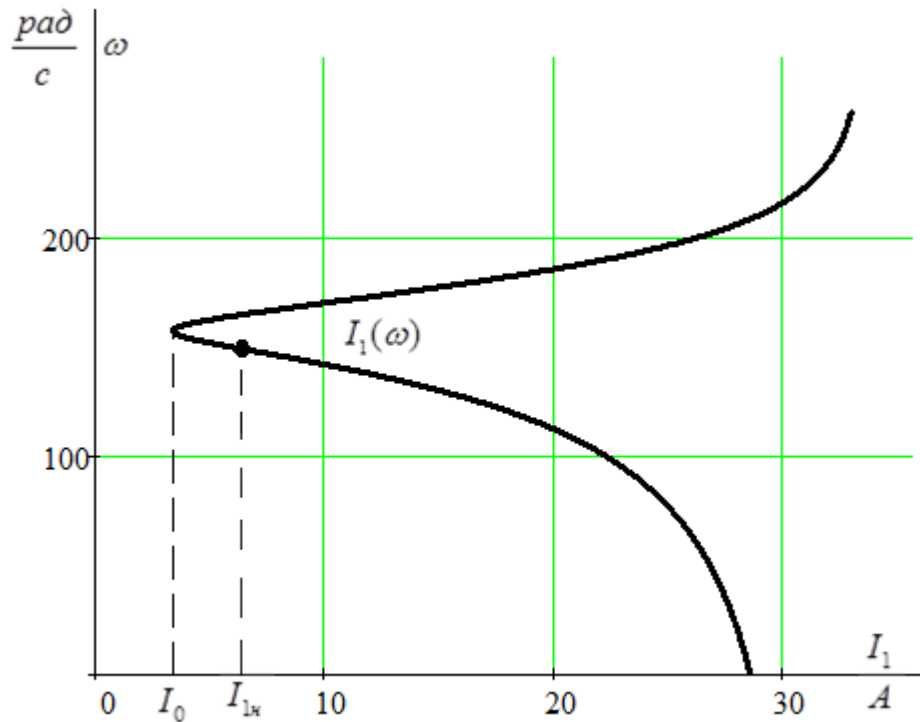


Рисунок 26 – График естественной электромеханической характеристики $I_1 = f(s)$ АД

Рассчитаем номинальный ток статора АД $I_{1н}$ при номинальном скольжении $S_{н} = 0,06$ в соответствии с электромеханической характеристикой.

Номинальный ток ротора определяется при номинальном скольжении:

$$I'_2(s) = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + (X_1 + X'_2)^2}} =$$

$$\frac{220}{\sqrt{\left(2,299 + \frac{2,248}{0,06}\right)^2 + (3,137 + 4,238)^2}} = 5,439 \text{ A}.$$

Номинальный ток статора двигателя:

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I'_2(\omega)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I'_2(\omega) \cdot \sin \varphi_{2н}} =$$

$$\sqrt{2,089^2 + 5,439^2 + 2 \cdot 2,089 \cdot 5,439 \cdot 0,185} =$$

$$= 6,175 \text{ A}.$$

Расчёт и построение механических и электромеханических характеристик асинхронного двигателя для закона регулирования

Расчет характеристик производится для частот $f_1=50; 35; 25; 10$ Гц.

$$\text{При законе регулирования } Z_p = \frac{U_{1H}}{f^2} = \frac{220}{50^2} = 0,088$$

Относительные значения частот питающего напряжения:

$$\text{при } f_{1H1}=50 \text{ Гц} \quad f_{1*1} = \frac{f_{1H}}{f_{1H}} = \frac{50}{50} = 1$$

$$\text{при } f_{1H2}=35 \text{ Гц} \quad f_{1*2} = \frac{f_{2H}}{f_{1H}} = \frac{35}{50} = 0,7$$

$$\text{при } f_{1H3}=25 \text{ Гц} \quad f_{1*3} = \frac{f_{3H}}{f_{1H}} = \frac{25}{50} = 0,5$$

$$\text{при } f_{1H4}=10 \text{ Гц} \quad f_{1*4} = \frac{f_{4H}}{f_{1H}} = \frac{10}{50} = 0,2$$

Фазное напряжение обмотки статора асинхронного двигателя:

$$U_{1H1} = Z_p \cdot f_{1H1}^2 = 0,088 \cdot 50^2 = 220 \text{ В};$$

$$U_{1H2} = Z_p \cdot f_{1H2}^2 = 0,088 \cdot 35^2 = 107,8 \text{ В};$$

$$U_{1H3} = Z_p \cdot f_{1H3}^2 = 0,088 \cdot 25^2 = 55 \text{ В};$$

$$U_{1H4} = Z_p \cdot f_{1H4}^2 = 0,088 \cdot 10^2 = 8,8 \text{ В}.$$

В соотношении с изображенными частотами питающего напряжения выполняем расчет значений скорости идеального холостого хода:

$$\omega_{01} = \frac{2\pi \cdot f_{1H1}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{2} = 157,08 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{02} = \frac{2\pi \cdot f_{1H2}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 35}{2} = 109,956 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{03} = \frac{2\pi \cdot f_{1H3}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 25}{2} = 78,54 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{04} = \frac{2\pi \cdot f_{1H4}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 10}{2} = 31,4 \text{ рад/с}.$$

Токи холостого хода при данных частотах регулирования:

$$I_{01} = \frac{U_{1H1}}{X_{\mu H}} = \frac{220}{105,5} = 2,089 \text{ А};$$

$$I_{02} = \frac{U_{1H2}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*2}} = \frac{107,8}{105,5 \cdot 0,7} = 1,46 \text{ А};$$

$$I_{03} = \frac{U_{1H3}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*3}} = \frac{55}{105,5 \cdot 0,5} = 1,043 \text{ A};$$

$$I_{04} = \frac{U_{1H4}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*4}} = \frac{8,8}{105,5 \cdot 0,2} = 0,417 \text{ A}.$$

Электромеханические характеристики (рисунок 27) $I_2(\omega)$ для выбранных частот строятся по выражениям:

$$I_2'(s, f) = \frac{U_1(f)}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{KH}^2 \cdot f_{1*}^2(f) + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1*}(f)}\right)^2}},$$

где $\omega(s, f) = \omega_0(f) \cdot (1-s)$.

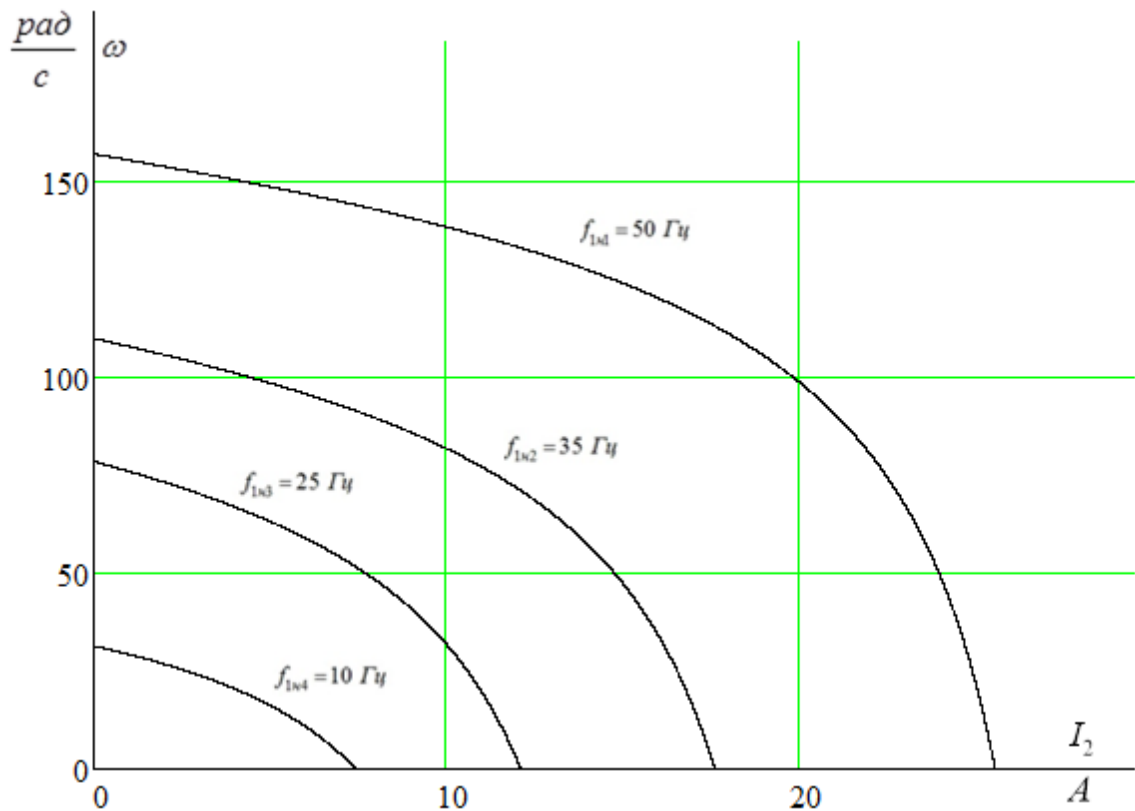


Рисунок 27 – Искусственные электромеханические характеристики тока ротора $I_2(\omega)$

Также строятся электромеханические характеристики (рисунок 28) $I_1(\omega)$ для выбранных частот по выражениям:

$$I_1(s, f) = \sqrt{\left(I_0(f)\right)^2 + \left(I_2'(s, f)\right)^2 + 2 \cdot I_0(f) \cdot I_2'(s, f) \cdot \sin \varphi_2(s, f)},$$

$$\omega(s, f) = \omega_0(f)(1-s),$$

$$\text{где } \sin \varphi_2(s, f) = \frac{X_{\text{KH}} \cdot f_{1*}(f)}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{\text{KH}}^2 \cdot f_{1*}^2(f)}};$$

$$I_0(f) = \frac{U_1(f)}{X_{\mu\text{H}} \cdot f_{1*}(f)} - \text{ток холостого хода АД в зависимости от частоты.}$$

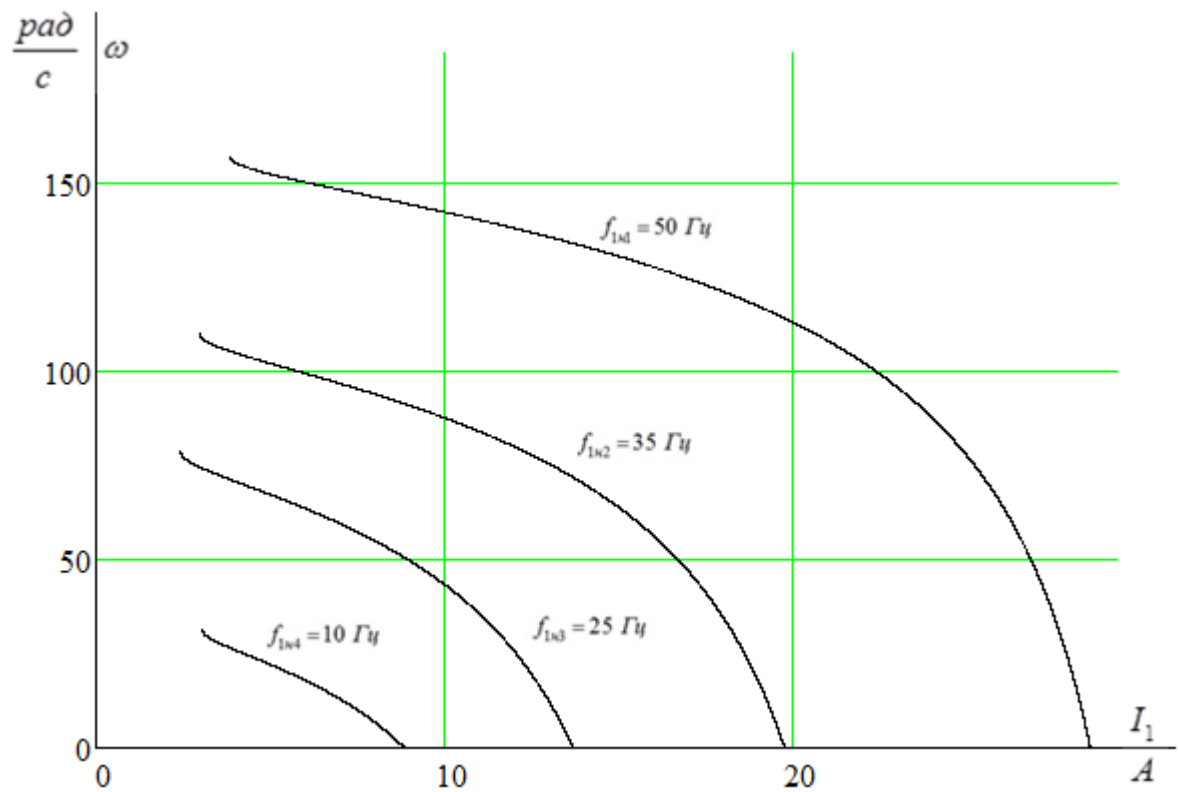


Рисунок 28 – Искусственные электромеханические характеристики тока статора $I_1(\omega)$

Механические характеристики АД $M(\omega)$ (рисунок 29) рассчитываем для выбранных по выражениям:

$$M(s, f) = \frac{3 \cdot (U_1(f))^2 \cdot R_2'}{\omega_0(f) \cdot s \cdot \left[X_{\text{ef}}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu\text{H}} \cdot f_{1*}(f)}\right)^2 \right]},$$

$$\omega(s, f) = \omega_0(f)(1 - s).$$

Критические момент и скольжение можно определить по выражениям:

$$M_{\kappa}(f) = \frac{3 \cdot (U_1(f))^2}{2 \cdot \omega_0(f) \cdot \left[R_1 + \sqrt{(R_1^2 + X_{\kappa\text{H}}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2) \cdot \left(1 + \frac{R_1^2}{X_{\mu\text{H}}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2} \right)} \right]},$$

$$s_{\kappa}(f) = R_2' \cdot \sqrt{\frac{1 + \frac{R_1^2}{X_{\mu\text{H}}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2}}{R_1^2 + X_{\mu\text{H}}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2}},$$

$$\omega_{\kappa}(f) = \omega(s_{\kappa}(f), f).$$

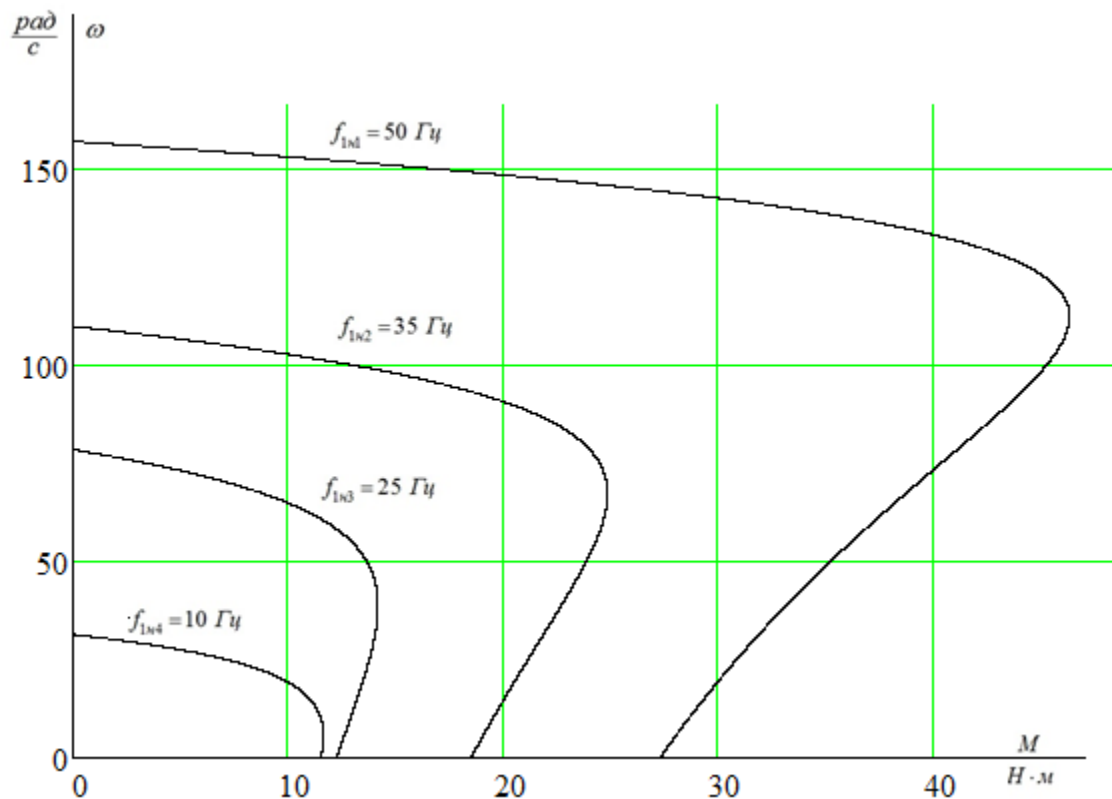


Рисунок 29 – Искусственные механические характеристики $M(\omega)$

Электромеханические характеристики:

При снижении частоты происходит уменьшение синхронной скорости, так как:

1. $\omega_0 = \frac{60 \cdot f}{p} \cong f$ – при снижении частоты синхронная скорость уменьшается.

$$2. I'_{2\text{кз}} = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R'_2)^2 + X_{\text{кн}}^2}} \cong \frac{U_1}{f} \cong f \text{ - ток КЗ обратно пропорционален квадратному}$$

корню из частоты.

Механические характеристики:

$$1. \omega_0 = \frac{60 \cdot f}{p} \cong f \text{ - при уменьшении частоты синхронная скорость снижается.}$$

$$2. s_{\text{к}} = \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_{\text{кн}}^2}} \cong \frac{1}{f}; M_{\text{к}} = \frac{3 \cdot U_1^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot [R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_{\text{кн}}^2}]} \cong \frac{U_1^2}{f^2} \cong f^2.$$

Критические момент и скольжение обратно пропорциональны частоте.

$$3. M_{\text{п}} = 2 \cdot M_{\text{к}} \cdot s_{\text{к}} \cong f \text{ - пусковой момент обратно пропорционален квадрату частоты.}$$

3.2. Расчет электромеханических переходных характеристик

$\omega = f(t)$ и $M = f(t)$ АД пуске, набросе и сбросе нагрузки при мгновенном изменении задания, а так же переходных характеристик $\omega = f(t)$ и $M = f(t)$ АД при пуске вентилятора

Моделирование асинхронного двигателя осуществляется с помощью программы MATLAB Simulink. Для создания имитационной модели использованы параметры схемы замещения двигателя (таблица 7).

Имитационная модель изображена на рисинке 30.

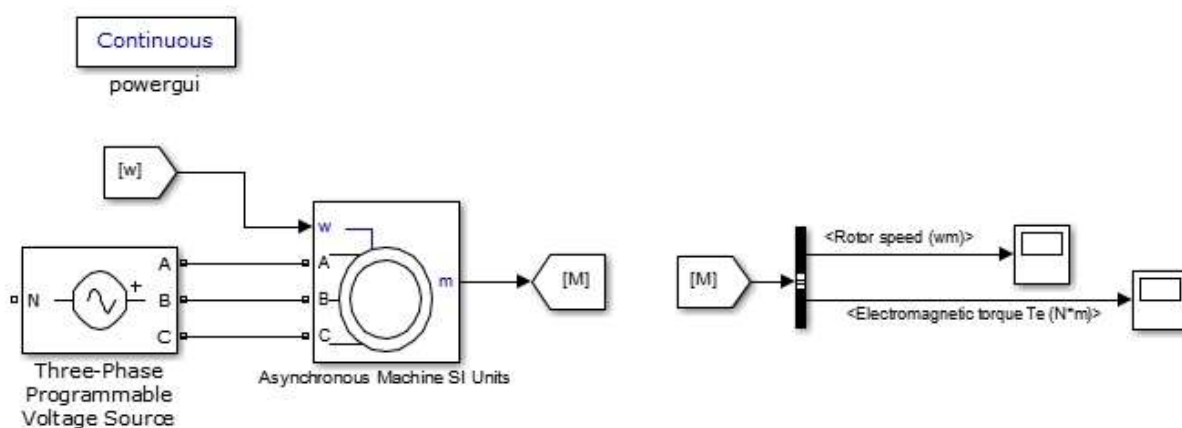


Рисунок 30 – Имитационная модель прямого пуска асинхронного двигателя

На рисунках 31, 32 представлены переходные характеристики скорости и момента, а также динамическая механическая характеристика при прямом пуске АД без нагрузки и при набросе нагрузки.

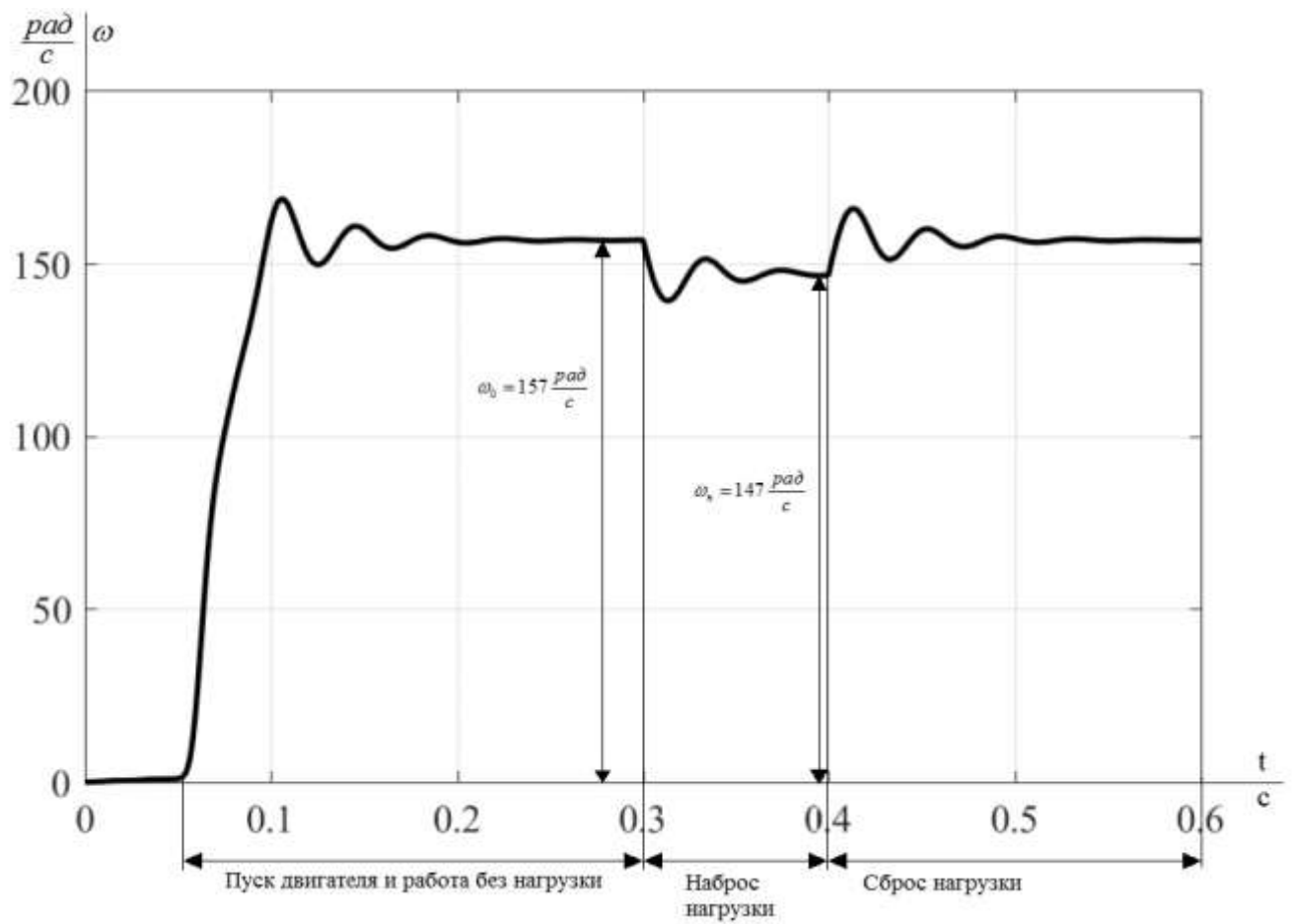


Рисунок 31 – Переходная характеристика $\omega=f(t)$ скорости ротора АД при пуске, набросе, сбросе нагрузки

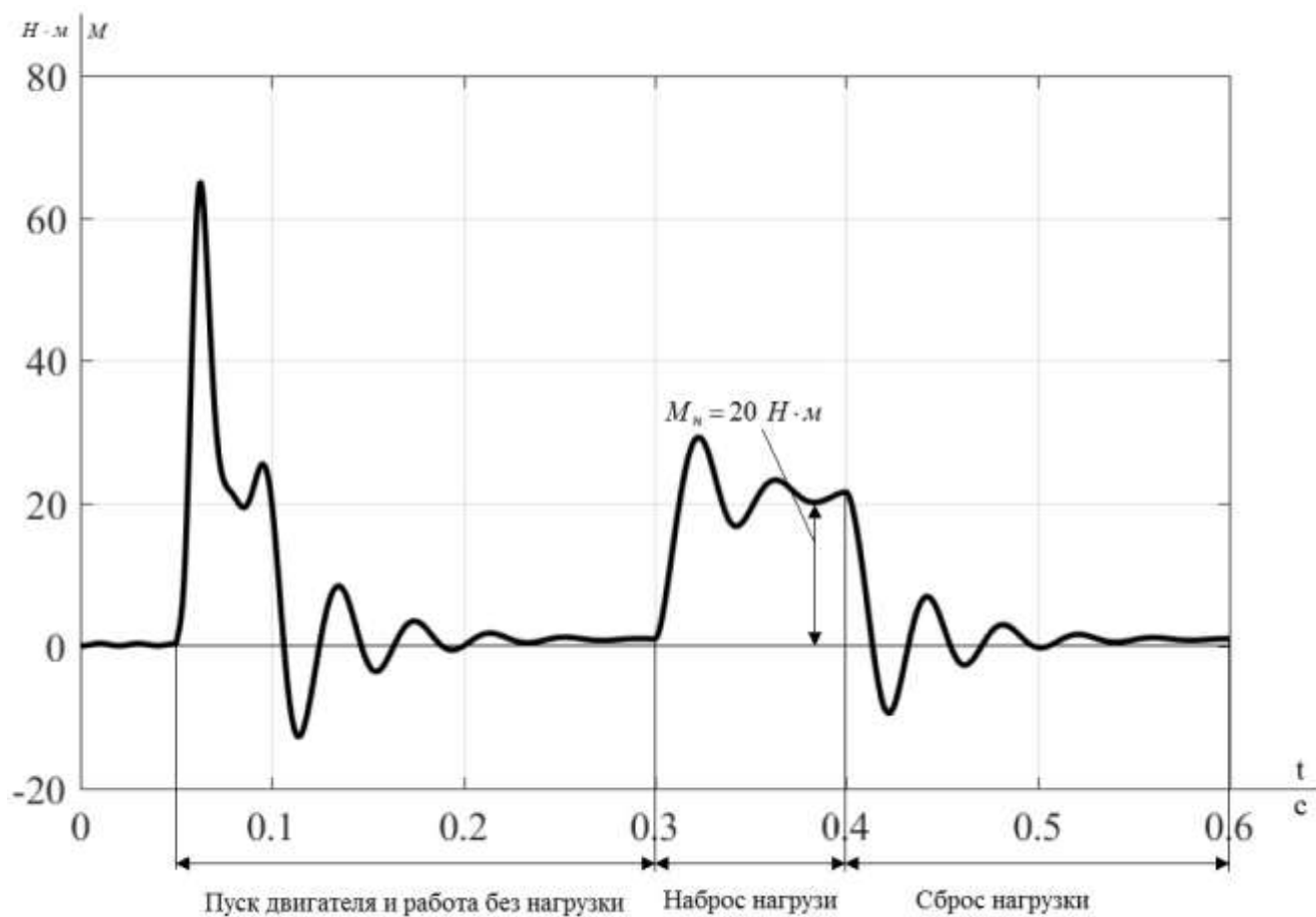


Рисунок 32 – Переходная характеристика $M=f(t)$ электромагнитного момента АД при пуске, набросе, сбросе нагрузки

Далее было произведено моделирование электропривода с вентиляторной нагрузкой. Имитационная модель регулируемого электропривода представлена на рисунке 33.

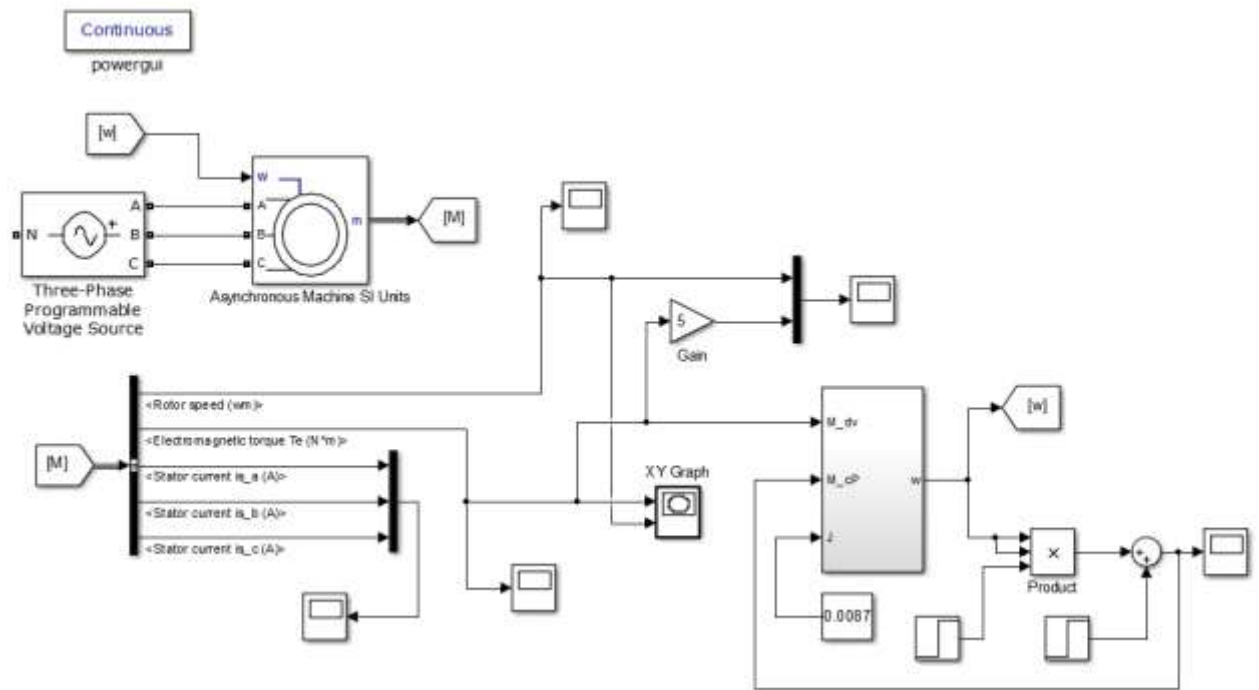


Рисунок 33 – Имитационная модель электропривода

Модель вентиляторной нагрузки и инерционной массы с учетом переменного момента инерции J и переменного момента сопротивления реактивного характера M_{cP} приведены на рисунке 34, 35.

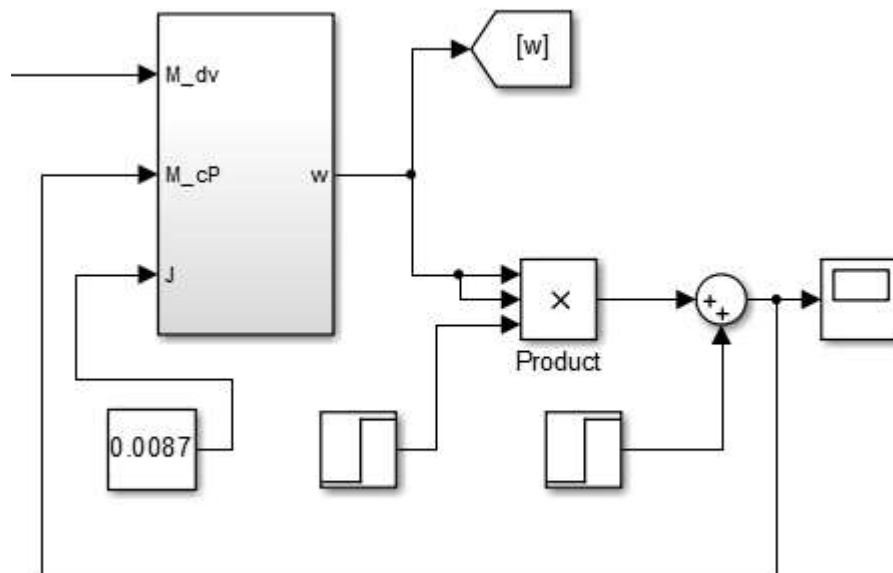


Рисунок 34 – Имитационная модель вентиляторной нагрузки

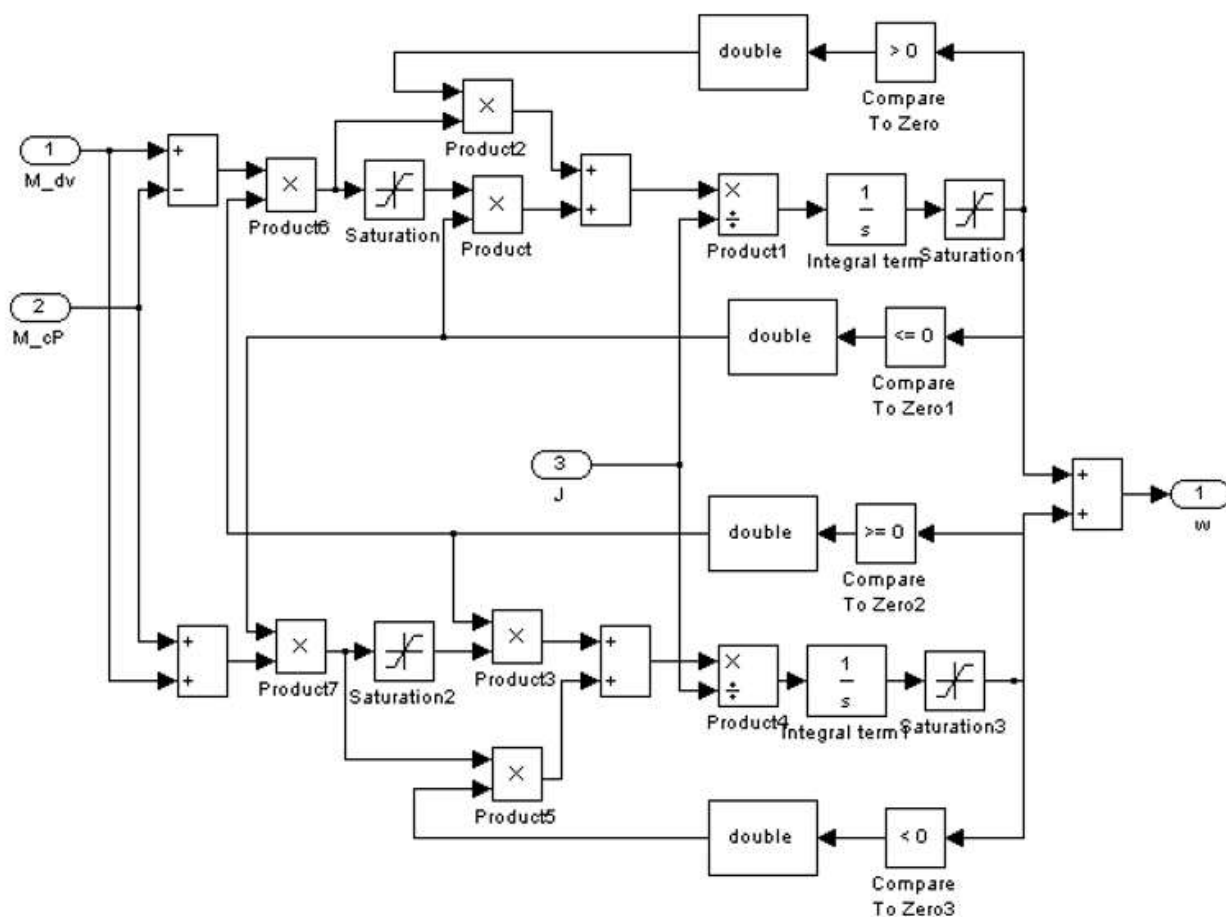


Рисунок 35 – Имитационная модель инерционной массы

На рисунке 36 представлены переходные характеристики скорости и момента, а также динамическая механическая характеристика пуска АД при включении вентилятора. На рисунке 37 представлена переходная характеристика вентиляторной нагрузки.

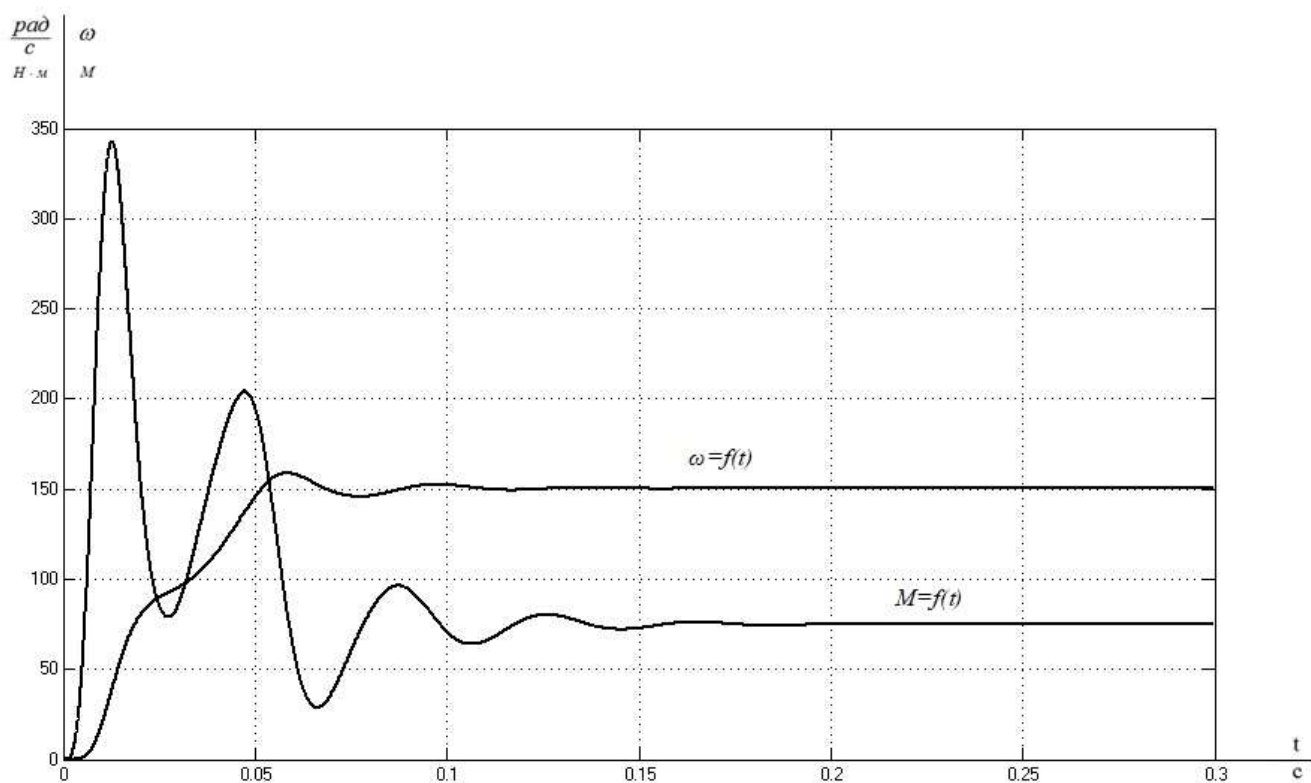


Рисунок 36 – Переходная характеристика $M=f(t)$ электромагнитного момента и $\omega=f(t)$ скорости ротора АД при пуске вентилятора

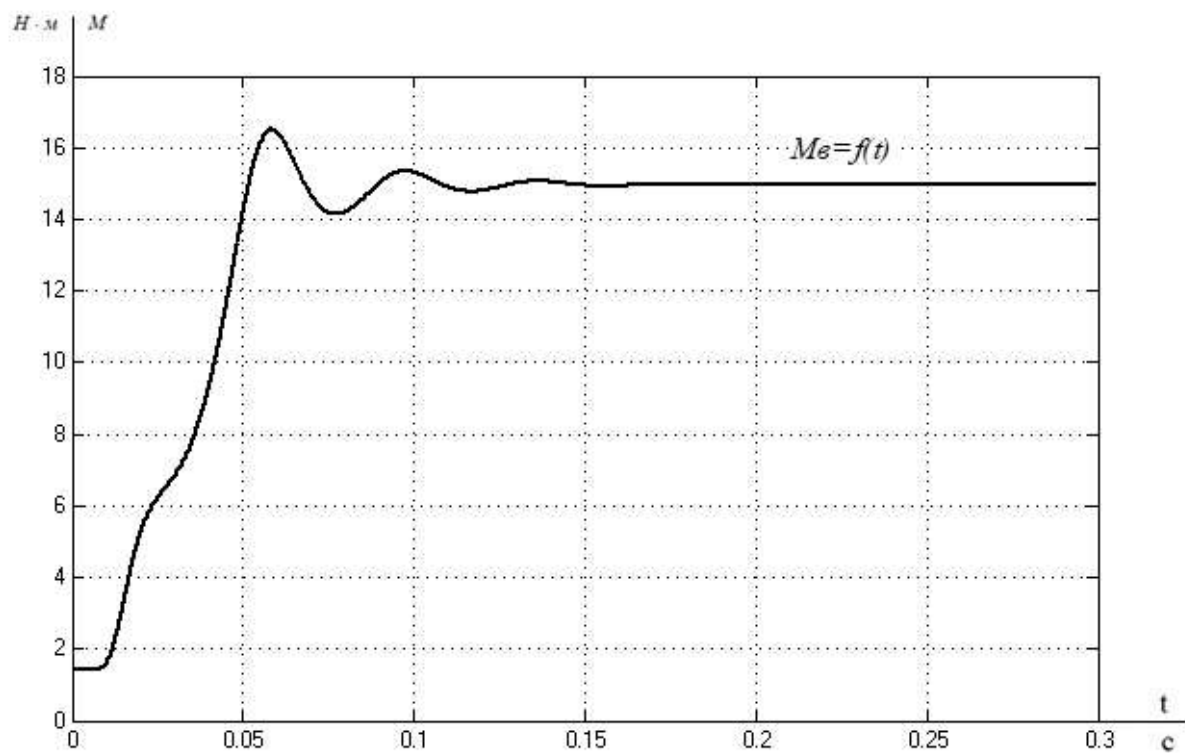


Рисунок 37 – Переходная характеристика $M=f(t)$ вентиляторной нагрузки

Как видно из графиков модель двигателя работает правильно, двигатель выходит на номинальную скорость при номинальной нагрузке и частоте питающей сети. Переходные характеристики получены верно. Система стабильна.

4. ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

4.1. Силовая схемы регулируемого электропривода

Силовая схема регулируемого электропривода представлена на рисунке 38.

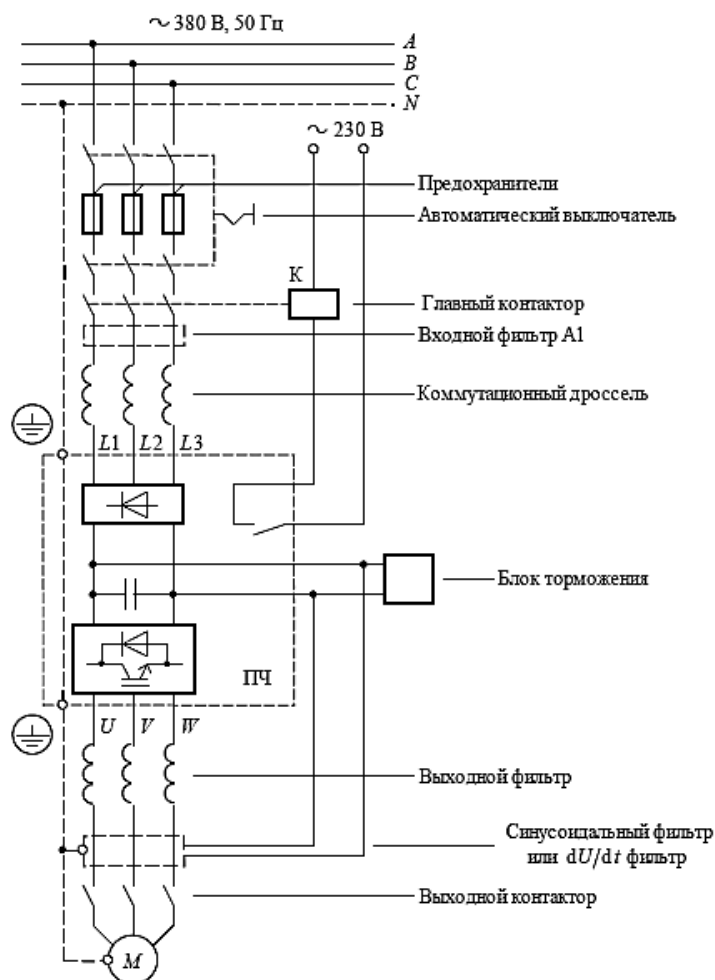


Рисунок 38 – Силовая схема регулируемого электропривода

Элементы со стороны питающей сети:

- 1) Сетевые предохранители – одновременно обеспечивают защиту как подводящих кабельных линий, так и полупроводниковых элементов преобразователя.
- 2) Сетевой коммутационный дроссель снижает гармоники тока, потребляемого из сети преобразователем частоты, которые создает преобразователь.

3) Помехоподавляющие фильтры совместно с сетевыми коммутационными дросселями уменьшают напряжение помехи, создаваемой преобразователем

4) Синусоидальный фильтр позволяет обеспечить практически синусоидальную форму выходного напряжения и тока. Синусоидальный фильтр снижает выходное напряжение инвертора, ограничивает максимальную выходную частоту инвертора и снижает пики напряжения на клеммах двигателя.

5) Фильтры ограничения напряжения ограничивают пиковые значения импульсных перенапряжений и производную dU/dt на клеммах двигателя.

4.2. Схема управления регулируемого электропривода

Выбор рациональной структуры ЭП зависит от технических требований к регулированию момента и скорости, условий эксплуатации, экономических и массогабаритных показателей, вариантов конструктивного исполнения, стоимости эксплуатации.

Одним из основных требований для судового вентилятора является надежность. Как показывает практика чаще всего ЭП выходит из строя по причинам неисправности в ПЧ или в системе управления. По этой причине в схеме предусмотрено подключение двигателя на прямую к сети. Управление переключениями осуществляется с помощью контроллера, подающего управляющие сигналы на релейно-контакторную схему управления. Наличие контроллера дает возможность управлять ЭП, и следить за его работой на довольно больших расстояниях [4].

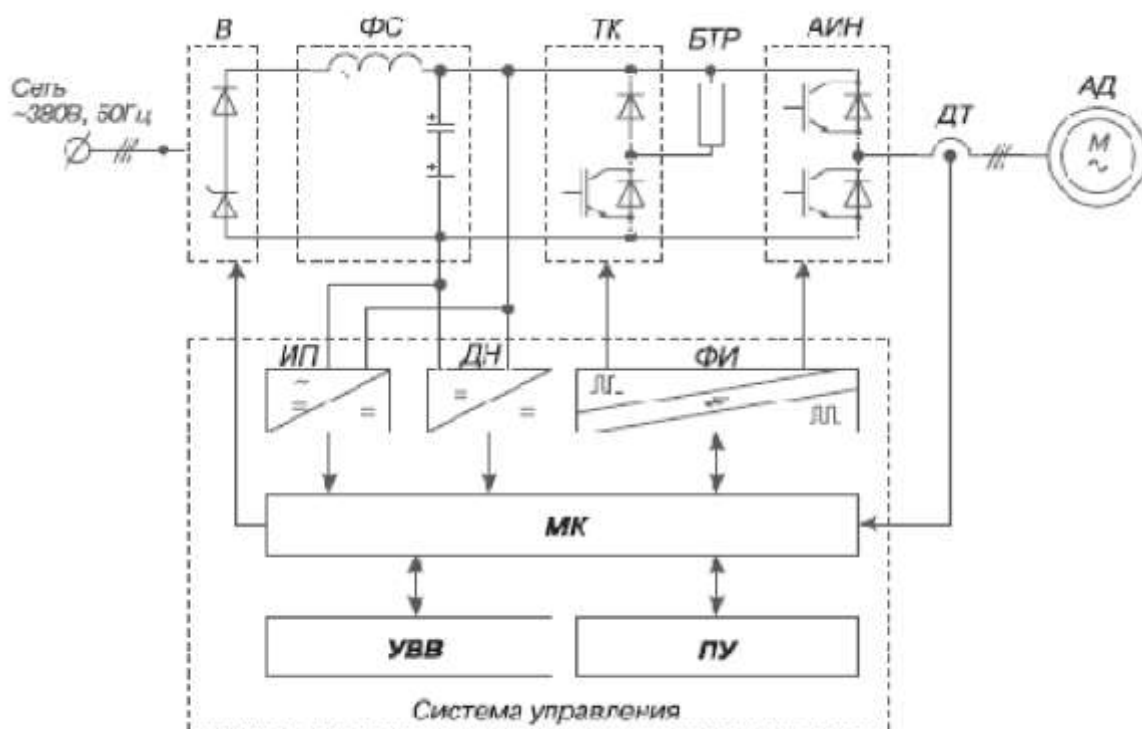


Рисунок 39 – Функциональная схема системы ПЧ-АД

ЭП также обеспечен релейно контактной схемой управления, которая позволяет управлять им в ручном управлении, а также обеспечивает защиту от параллельного включение ПЧ и аварийной сети питания ЭП.

В – силовой полууправляемый выпрямитель;

АД – приводной асинхронный электродвигатель;

ИП – источник питания;

ФС – силовой LC-фильтр звена постоянного напряжения;

ТК – транзисторный (IGBT) ключ реостатного торможения;

БТР – внешний блок тормозного резистора;

АИН – транзисторный (IGBT) автономный инвертор напряжения;

ДТ – датчик тока;

ДН – датчик напряжения;

ФИ – формирователь управляющих сигналов транзисторов (драйвер);

МК – микропроцессорный контроллер;

УВВ – устройство ввода/вывода (внешний интерфейс);

ПУ – пульт управления

5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований [7, 8, 9].

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, каков бюджет научного проекта, какой срок потребуется для выхода на рынок и т.д.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;

- планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

С учетом решения данных задач была сформирована структура и содержание раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».

5.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

5.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.



В данном случае сегментирования целесообразно провести по критерию точности, т.к. как для разных типов режимов работы, требуется разная величина производительности вентилятора и разный напор (давление), создаваемое вентилятором.

А также следует выделить сегменты рынка:

- по разработке, проектированию и производству;
- по установке и пуско-наладке;
- по дальнейшему обслуживанию и ремонту.

Исходя из сегмента рынка, будет произведено сегментирование коммерческих организаций по отраслям. Сегментирование приведено в табл. 8.

Таблица 8 – Карта сегментирования рынка разработок для ЭП

	Нерегулируемый электропривод	Электропривод с тиристорным регулятором напряжения	Электропривод с преобразователем частоты
Проектирование и производство			

Окончание таблицы 8

Установка и пуско-наладка			
Обслуживание и ремонт			
Фирма А		Фирма Б	

Результаты сегментирования:

- Основными сегментами рынка являются все виды деятельности для нерегулируемых электроприводов и электроприводов с тиристорным регулятором напряжения;
- Наиболее сильно предприятие должно быть ориентировано на сегменты рынка связанные с проектированием и производством, установкой и пуско-наладкой электроприводов с преобразователем частоты;
- Наиболее привлекательными сегментами рынка являются отрасли, связанные с проектированием и производством, установкой и пуско-наладкой электроприводов с преобразователем частоты.

5.1.2. Технология QuaD

Технология QuaD (QUality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект.

В основе технологии QuaD лежит нахождение средневзвешенной величины следующих групп показателей:

1) *Показатели оценки коммерческого потенциала разработки:*

- влияние нового продукта на результаты деятельности компании;
- перспективность рынка;
- пригодность для продажи;

- перспективы конструирования и производства;
- финансовая эффективность.
- правовая защищенность и др.

2) Показатели оценки качества разработки:

- динамический диапазон;
- вес;
- ремонтпригодность;
- энергоэффективность;
- долговечность;
- эргономичность;
- унифицированность;
- уровень материалоемкости разработки и др.

Показатели оценки качества и перспективности новой разработки подбираются исходя из выбранного объекта исследования с учетом его технических и экономических особенностей разработки, создания и коммерциализации.

Для упрощения процедуры проведения QuaD оценка проводится в табличной форме (таблица 9).

В соответствии с технологией QuaD каждый показатель оценивается экспертным путем по стобальной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Таблица 9 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Максимальный балл	Относительное значение (3/5) (4/5)		Средневзвешенное значение (6x2)x100 (7x2)x100	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Показатели оценки качества разработки								
1. Повышение производительности труда пользователя	0,08	93	90	100	0,93	0,9	7,44	7,2
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	90	87	100	0,9	0,87	9	8,7
3. Помехоустойчивость	0,05	88	85	100	0,88	0,85	4,4	4,25
4. Энергоэкономичность	0,12	93	90	100	0,93	0,9	11,1	10,8
5. Надежность	0,07	95	91	100	0,95	0,91	6,65	6,37
6. Уровень шума	0,05	85	80	100	0,85	0,8	4,25	4
7. Безопасность	0,02	85	81	100	0,85	0,81	1,7	1,62
8. Потребность в ресурсах памяти	0,03	75	77	100	0,75	0,77	2,25	2,31
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,05	83	81	100	0,83	0,81	4,15	4,05
10. Простота эксплуатации	0,04	97	93	100	0,97	0,93	3,88	3,72
11. Качество интеллектуального интерфейса	0,04	95	95	100	0,95	0,95	3,8	3,8
12. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,06	99	97	100	0,99	0,97	5,94	5,82
	Показатели оценки коммерческого потенциала разработки							
1. Конкурентоспособность продукта	0,03	92	89	100	0,92	0,89	2,76	2,67
2. Уровень проникновения на рынок	0,03	65	67	100	0,65	0,67	2,85	2,01
3. Цена	0,08	70	65	100	0,7	0,65	5,6	5,2
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	92	90	100	0,92	0,9	4,6	4,5
5. Послепродажное обслуживание	0,02	92	90	100	0,92	0,9	1,84	1,8

Окончание таблицы 9

6. Финансирование научной разработки	0,03	80	78	100	0,8	0,78	2,4	2,34
7. Срок выхода на рынок	0,02	75	73	100	0,75	0,73	1,5	1,46
8. Наличие сертификации разработки	0,03	85	84	100	0,85	0,84	2,55	2,52
Итого	1						88,7	85,1

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot E_i = 0,08 \cdot 93 + 0,1 \cdot 90 + \dots + 0,03 \cdot 85 = 88,7,$$

где P_{cp} – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

E_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

Значение P_{cp} получилось равным 88,7, что говорит о том, что данная разработка является перспективной.

5.1.3. SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Он проводится в несколько этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Дадим трактовку каждому из этих понятий.

1. **Сильные стороны.** Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта. Сильные

стороны свидетельствуют о том, что у проекта есть отличительное преимущество или особые ресурсы, являющиеся особенными с точки зрения конкуренции. Другими словами, сильные стороны – это ресурсы или возможности, которыми располагает руководство проекта и которые могут быть эффективно использованы для достижения поставленных целей. При этом важно рассматривать сильные стороны и с точки зрения руководства проекта, и с точки зрения тех, кто в нем еще задействован. При этом рекомендуется задавать следующие вопросы:

- Какие технические преимущества вы имеете по сравнению с конкурентами?
- Что участники вашего проекта умеют делать лучше всех?
- Насколько ваш проект близок к завершению по сравнению с конкурентами?

2. **Слабые стороны.** Слабость – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей. Это то, что плохо получается в рамках проекта или где он располагает недостаточными возможностями или ресурсами по сравнению с конкурентами. Чтобы прояснить в каких аспектах вас, возможно, превосходят конкуренты, следует спросить:

- Что можно улучшить?
- Что делается плохо?
- Чего следует избегать?

3. **Возможности.** Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта, например, тенденцию, изменение или предполагаемую потребность, которая поддерживает спрос на результаты проекта и позволяет руководству проекта улучшить свою конкурентную позицию. Формулирование возможностей проекта можно упростить, ответив на следующие вопросы:

- Какие возможности вы видите на рынке? Проводите поиск свободных ниш, но помните, что свободными они остаются недолго. Благоприятная возможность, увиденная сегодня, может перестать существовать уже через

три месяца. Благоприятные возможности могут возникать в силу действия следующих факторов:

- изменения в технологической сфере и на рынке – как мирового, так и регионального масштаба;
- изменения правительственной политики в отношении отрасли, где проводится научное исследование;
- изменения социальных стандартов, профиля населения, стиля жизни и т.д.
- В чем состоят благоприятные рыночные возможности?
- Какие интересные тенденции отмечены?
- Какие потребности, пожелания имеются у покупателя, но не удовлетворяются конкурентами?

4. **Угроза** представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем. В качестве угрозы может выступать барьер, ограничение или что-либо еще, что может повлечь за собой проблемы, разрушения, вред или ущерб, наносимый проекту. Для выявления угроз проекта рекомендуется ответить на следующие вопросы:

- Какие вы видите тенденции, которые могут уничтожить ваш научно-исследовательский проект или сделать его результаты устаревшими?
- Что делают конкуренты?
- Какие препятствия стоят перед вашим проектом (например, изменения в законодательстве, снижение бюджетного финансирования проекта, задержка финансирования проекта и т.п.)?
- Изменяются ли требуемые спецификации или стандарты на результаты научного исследования?
- Угрожает ли изменение технологии положению вашего проекта?
- Имеются ли у руководства проекта проблемы с материально-техническим обеспечением?

Результаты первого этапа SWOT-анализа представляем в табличной форме (таблица 10).

Таблица 10 – Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.</p> <p>С2. Экологичность технологии.</p> <p>С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С4.Повышение производительности труда.</p> <p>С5. Квалифицированный персонал.</p> <p>С6. Высокий срок эксплуатации.</p> <p>С7.Надежность данной системы по сравнению с другими.</p> <p>С8. Высокое качество продукции.</p> <p>С9. Универсальность схемы управления</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой</p> <p>Сл2. Большой срок выхода на рынок</p> <p>Сл3. Высокая стоимость лицензионного программного обеспечения</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1.Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>В2.Появление дополнительного спроса на новый продукт</p> <p>В3. Снижение стоимости на электроэнергию и материалы, используемые при научных исследованиях</p> <p>В4. Повышение стоимости конкурентных разработок</p> <p>В5. Развитие технологий в данной отрасли</p>		
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p> <p>У2. Развитая конкуренция технологий производства</p> <p>У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции</p>		

Окончание таблицы 10

У4.Экономическая ситуация в стране, влияющая на спрос.		
У5. Появление новых конкурентных разработок.		

Описание сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта, его возможностей и угроз должно происходить на основе результатов анализа, проведенного в предыдущих разделах бакалаврской работы.

После того как сформулированы четыре области SWOT переходим к реализации второго этапа.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Полученная интерактивная матрицы проекта представлена в таблице 11.

Таблица 11 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта										
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
	B1	0	+	0	0	+	0	+	+	+
	B2	+	+	+	+	-	+	+	+	+
	B3	+	-	+	+	-	+	+	0	+
	B4	+	-	-	0	+	+	+	+	+
	B5	+	0	+	+	+	+	+	+	+

Результаты анализа таблицы:

B2B3B4C1C6C7C9

B1C2C5C7C8C9

B4C1C5C6C7C8C9

B5C1C3C4C5C6C7C8C9

Продолжение таблицы 11

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	-	-	-
	B2	-	-	-
	B3	-	-	-
	B4	-	-	0
	B5	+	0	+

Результаты анализа таблицы:

B5Сл1Сл3

Продолжение таблицы 11

Сильные стороны проекта										
Угрозы		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
	У1	-	-	-	-	+	-	-	-	-
	У2	0	0	-	-	-	-	-	-	+
	У3	+	0	+	+	-	+	0	0	0
	У4	-	-	-	0	-	-	-	-	-
	У5	0	-	-	-	+	-	-	-	-

Результаты анализа таблицы:

У1С5

У3С1С3С4С6

У2С9

У5С5

Окончание таблицы 11

Слабые стороны проекта				
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	0	0
	У2	-	0	+
	У3	+	+	+
	У4	+	-	+
	У5	+	0	+

Результаты анализа таблицы:

У1Сл1

У2Сл3

У3Сл1Сл2Сл3

У4У5Сл1Сл3

В рамках третьего этапа составляем итоговую матрицу SWOT-анализа (таблица 12).

Таблица 12 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии. С2. Экологичность технологии. С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. С4.Повышение производительности труда. С5. Квалифицированный персонал.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой Сл2. Большой срок выхода на рынок Сл3. Высокая стоимость лицензионного обеспечения
Возможности: В1.Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2.Появление дополнительного спроса на новый продукт В3. Снижение стоимости на электроэнергию и материалы, используемые при научных исследований В4. Повышение стоимости конкурентных разработок В5. Развитие технологий в данной отрасли	В2В3В4С1С6С7С9 В1С2С5С7С8С9 В4С1С5С6С7С8С9 В5С1С3С4С5С6С7С8С9	В5Сл1Сл3
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции	У1С5 У3С1С3С4С6 У2С9 У5С5	У1Сл1 У2Сл3 У3Сл1Сл2Сл3 У4У5Сл1Сл3

Окончание таблицы 12

Угрозы: У4. Экономическая ситуация в стране, влияющая на спрос. У5. Появление новых конкурентных разработок.		
---	--	--

Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

5.2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

В предыдущем разделе были описаны методы, которые позволяют выявить и предложить возможные альтернативы проведения исследования и доработки результатов. К их числу относятся технология QuaD, SWOT-анализ. К ним можно добавить ФСА-анализ, метод Кано, оценку конкурентных инженерных решений. Однако, в большей степени все приведенные методы ориентированы на совершенствование результатов научного исследования, находящегося на стадии создания макета, модели системы, прототипа, конечного продукта. Если разработка находится на перечисленных стадиях жизненного цикла нового продукта, можно предложить не менее двух–трех основных вариантов совершенствования разработки или основных направлений научного исследования.

Разработка относится к вышеописанным стадиям, поэтому нет необходимости использовать морфологический подход.

5.3. Планирование научно-исследовательских работ

5.3.1. Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;

- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

Составляем перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проводим распределение исполнителей по видам работ. Результат представлен в таблице 13.

Таблица 13 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Описание объекта автоматизации (модернизации)	Инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	Инженер
	6	Расчет параметров двигателя и модели	Инженер
	7	Выбор способа регулирования скорости	Инженер
	8	Расчет предельных характеристик системы «преобразователь–электродвигатель»	Инженер
	9	Разработка математической модели системы АУ ЭП	Инженер
	10	Оптимизация САР электропривода	Инженер
	11	Разработка программы имитационного моделирования	Инженер
Обобщение и оценка результатов	12	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель

Проведение ОКР			
Разработка технической документации и проектирование	13	Технико-экономические расчеты	Инженер
	14	Вопросы безопасности и экологичности проекта	Инженер
	15	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер

5.3.2. Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожи}$ используется следующая формула:

$$t_{ожи} = \frac{3t_{мини} + 2t_{махи}}{5}, \quad (1)$$

где $t_{ожи}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{мини}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{махи}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое

вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (2)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

5.3.3. Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (3)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (4)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе $T_{\text{ки}}$ необходимо округлить до целого числа.

Все рассчитанные значения сводим в таблицу (таблица 13).

Пример расчета (составление и утверждение технического задания):

$$t_{\text{ожс}} = \frac{3 \cdot t_{\text{min}} + 2 \cdot t_{\text{max}}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4 \approx 2 \text{ чел-дней};$$

$$T_p = \frac{t_{\text{ожс}}}{\text{Ч}} = \frac{2}{1} = 2 \text{ дня};$$

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 116 - 14} = 1,553;$$

$$T_{\text{к}} = T_p \cdot k_{\text{кал}} = 2 \cdot 1,553 = 3,106 \approx 4 \text{ дня}.$$

Таблица 14 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ									Длительность работ в рабочих днях T_{pi}			Длительность работ в календарных днях T_{ki}		
	t_{\min} , чел-дни			t_{\max} , чел-дни			$t_{ож\bar{i}}$, чел-дни								
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Составление и утверждение технического задания	2	2	1	4	4	2	3	3	2	3	3	2	5	5	4
Подбор и изучение материалов по теме	6	7	5	10	11	9	8	9	7	8	9	7	13	14	11

Окончание таблицы 14

Описание объекта автоматизации (модернизации)	4	3	3	7	6	5	6	5	4	6	5	4	10	8	7
Календарное планирование работ по теме	3	4	3	5	6	5	4	5	4	4	5	4	7	8	7
Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	4	6	5	8	12	10	6	9	7	6	9	7	10	14	11
Расчет параметров двигателя и модели	4	5	3	8	9	7	6	7	5	6	7	5	10	11	8
Выбор способа регулирования скорости	5	4	3	9	8	7	7	6	5	7	6	5	11	10	8
Расчет предельных характеристик системы «преобразователь–электродвигатель»	3	3	2	6	6	4	5	5	3	5	5	3	8	8	5
Разработка математической модели системы АУ ЭП	5	4	3	9	8	7	7	6	5	7	6	5	11	10	8
Оптимизация САР электропривода	5	4	5	9	8	9	7	6	7	7	6	7	11	10	11
Разработка программы имитационного моделирования	3	4	4	7	8	8	5	6	6	5	6	6	8	10	10
Оценка эффективности полученных результатов	1	2	2	3	4	4	2	3	3	2	3	3	4	5	5
Технико-экономические расчеты	3	3	4	6	7	7	5	5	6	5	5	6	8	8	10
Вопросы безопасности и экологичности проекта	4	4	3	7	7	5	6	6	4	6	6	4	10	10	7
Составление пояснительной записки	1	2	1	3	4	3	2	3	2	2	3	2	4	5	4


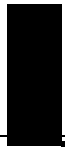


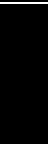



Итого длительность работ в календарных днях при использовании

- Первого варианта – 130 календарных дней.
- Второго варианта – 136 календарных дней.
- Третьего варианта – 116 календарных дней.

На основе таблицы 14 строим календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделяем различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Календарный план-график построенный для максимального по длительности третьего варианта исполнения работ рамках научно-исследовательского проекта приведен в таблице 15.

Таблица 15 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ ра бо т	Вид работ	Исполн ители	T _{кi} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				фев.		март			апрель			май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководи тель	4														
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	11														
3	Описание объекта автоматизации (модернизации)	Инженер	7														
4	Календарное планирование работ по теме	Руководи тель	7														
5	Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	Инженер	11														
6	Расчет параметров двигателя и модели	Инженер	8														
7	Выбор способа регулирования скорости	Инженер	8														
8	Расчет предельных характ. системы «преобр.— электродвиг.»	Инженер	5														

[illegible]

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- 118

- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

Все необходимое оборудование и материалы имеются в лаборатории, поэтому расчет материальных затрат проводить не будем.

5.3.4.1. Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20–30 % от тарифа или оклада.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (8)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $З_{осн}$).

Основная заработная плата ($З_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p, \quad (9)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 13);

$З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{он}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{34725 \cdot 10,4}{237} = 1523 \text{ руб.},$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 16).

Таблица 16 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	52
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезни	14	14
Действительный годовой фонд рабочего времени	237	237

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{ТС}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 17808 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 34725 \text{ руб}$$

где $Z_{\text{ТС}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{\text{ТС}}$);

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от $Z_{\text{ТС}}$);

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Заработная плата руководителя:

$$Z_{\text{м.рук.}} = t_{\text{раб.}} \cdot T_{\text{рук}} = 24 \cdot 300 = 7200 \text{ руб}$$

где $T_{\text{рук}}$ – тарифная оплата руководителя (час), руб.;

$t_{\text{раб}}$ – время работы руководителя.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 17.

Таблица 17 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{тс}}$, руб.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$, руб.	$Z_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель								7200
Инженер	17808	0,3	0,2	1,3	34725	1523	92	140116
Итого $Z_{\text{осн}}$								147316

5.3.4.2. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,13 \cdot 140116 = 18215 \text{ руб}$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

5.3.4.3. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,271 \cdot (140116 + 18215) = 42907 \text{ руб}$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2015 г. в соответствии с Федеральным закона от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2015 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды рекомендуется представляем в табличной форме (таблица 18).

Таблица 18 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			Дополнительная заработная плата, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Руководитель	8100	8400	7200			
Инженер	156869	164484	140116	20393	21383	18215
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271					
Итого						
Исполнение 1	48038					
Исполнение 2	50369					
Исполнение 3	42907					

5.3.4.4. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}}) \cdot 0,16 = \\ = (147316 + 18215 + 42907) = 33350$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Расчет величины накладных расходов приведен в таблице 19.

Таблица 19 – Накладные расходы

	$Z_{\text{накл}}$, руб.
Исполнение 1	37343
Исполнение 2	39141
Исполнение 3	33350

5.3.4.5. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 20.

Таблица 20 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	164969	172884	147316	Пункт 3.4.1
2. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	20392	21382	18215	Пункт 3.4.2
3. Отчисления во внебюджетные фонды	48038	50369	42907	Пункт 3.4.3
4. Накладные расходы	37343	39141	33350	16 % от суммы ст. 1-5
5. Бюджет затрат НТИ	270742	283776	241788	Сумма ст. 1- 6

5.4. Определение ресурсоэффективности проекта

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{фин}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}},$$

где $I_{\text{фин}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Расчёт интегрального финансового показателя приведен в таблице 21.

Таблица 21 – Расчёт ИФН конкурентных технических решений

	$I_{\text{фин}}^{\text{исп.}i}$
Исполнение 1	0,98
Исполнение 2	1
Исполнение 3	0,87

Величина интегрального финансового показателя разработки схемы 3 (преобразователь частоты) отражает соответствующее численное удешевление стоимости электропривода при одинаковой мощности. Схема 3 имеет наименьший интегральный показатель среди трёх конкурентных технических решений, и, следовательно, вариант схемы является наиболее финансово эффективным, что является определяющим критерием.

Определение ресурсоэффективности проекта схемы 3 можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

b_i – балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности схем проводим в виде табличной формы (таблица 22).

Таблица 22 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Нерегулируемый электропривод	Электропривод с тиристорным регулятором напряжения	Электропривод с преобразователем частоты
1. Безопасность	0,2	5	5	5
2. Удобство в эксплуатации	0,15	4	4	5
3. Помехоустойчивость	0,10	4	4	4
4. Энергосбережение	0,15	3	4	5
5. Надёжность	0,25	5	5	5
6. Материалоёмкость	0,15	4	4	4
Итого:	1,00	4,3	4,45	4,75

Рассчитываем показатель ресурсоэффективности:

$$I_p = 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 = 4,75.$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение, что говорит об эффективности использования технического проекта.

Таким образом, применение нерегулируемых электроприводов и электроприводов с тиристорным регулятором напряжения и сейчас остается эффективным. Переход к электроприводу с преобразователем частоты, целесообразен в момент реструктуризации производства, или в тех производственных процессах, когда применение других представленных схем не целесообразно.

В ходе выполнения данной части выпускной работы была доказана конкурентоспособность данного технического решения, был произведен SWOT-анализ, планирование, которое ограничило выполнение работы в 116 дней. Также был посчитан бюджет НТИ равный 241788 руб, основная часть которого приходится на зарплаты сотрудников.

6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Данный раздел посвящен вопросам обеспечения безопасных условий труда, экологической и пожарной безопасности в соответствии с действующими нормативными документами, а также вопросам экологической безопасности и обеспечение безопасности в ЧС.

Рассмотрение данных вопросов отвечает требованиям международного стандарта ICCSR-26000:2011 к деятельности организаций в области социальной ответственности по тем разделам его модулей, по которым должны быть приняты указанные проектные решения.

6.1. Анализ вредных факторов

На участке управления электроприводом вентилятора необходимо учитывать наличие и возможность воздействия следующих вредных производственных факторов:

1. Повышенная температура в рабочей зоне;
2. Повышенный уровень шума и вибрации.

Источниками повышенного тепловыделения в машинном отделении являются котлы.

Для обеспечения нормального микроклимата в соответствии с СанПиН

2.2.4.548 – 96 предусматривается следующее [25]:

- приточно-вытяжная система вентиляции согласно СНиП 41-01-2003* [26]
- установка центробежных вентиляторов с кратностью воздухообмена 1;
- установка систем местных отсосов для удаления вредных, пожароопасных и взрывоопасных веществ от мест их образования и выделения по СНиП 41-01-2003* [26];
- герметизация технологического оборудования.

Допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне машинного отделения судна в соответствии с СанПиН 2.5.2.703-98 [2] приведены в таблице 23.

Таблица 23 – микроклиматические условия в машинных помещениях, оборудованных системами отопления и вентиляции

Помещение	Холодный период			Теплый период	
	Температура воздуха, °С	Скорость воздуха, м/с	Относительная влажность, %*	Температура воздуха выше наружной расчетной, °С	Скорость Воздуха, м/с
на рабочих площадках в машинных и котельных отделениях	не ниже 12 при неработающих механизмах	0,3 – 0,5 в рабочей зоне	40 – 60	не более чем на 8	1 – 1,5 в рабочей зоне
в ЦПУ	19 – 21	до 0,3 в рабочей зоне	40 – 60	не более чем на 5	до 0,7

Все воздухозаборные устройства должны располагаться в местах, исключающих попадание в них загрязненного воздуха, газов и воды. Взаимное расположение приточных и вытяжных вентиляционных отверстий не должно допускать попадания удаляемого воздуха в приточные устройства системы вентиляции.

Воздуховоды приточной вентиляции должны располагаться на удалении от нагреваемых поверхностей. При прокладке воздуховодов в помещениях с повышенной температурой, во избежание вредного нагрева воздуха, они должны быть теплоизолированы.

Источниками повышенного уровня шума в рабочей зоне являются дизель-генераторы. Шум на рабочем месте оказывает неблагоприятное воздействие на организм человека и результаты его деятельности

Для защиты от шума по СанПиН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 [27] и вибрации по СанПиН 2.2.4/2.1.8.566 – 96 [28] предусматриваются:

- обеспечение персонала индивидуальными средствами защиты;
- звукоизолирующие кожухи и экраны;
- виброизолирующие материалы под оборудование (пружины, резины и другие прокладочные материалы).

Предельно допустимые уровни шума представлены в таблице 24 [2].

Таблица 24 – предельно допустимые уровни шума

Рабочее место	Уровни звукового давления в дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами в Гц									Уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Машинное отделение	110	99	98	87	83	80	78	76	74	85 ³

6.2. Анализ опасных факторов

К опасным факторам, возможным на территории машинного отделения относятся:

- образование пожароопасных смесей газов, опасность пожара;
- опасность электропоражения;

Пожар – это неконтролируемый процесс горения, который чреват большими материальными издержками, а часто и человеческими жертвами.

Обеспечение пожаробезопасности начинается с определения класса взрывоопасной зоны или класса пожароопасной зоны данного производственного помещения. Согласно «техническому регламенту о требованиях пожарной безопасности» [29] машинное отделение относится к категории Г. Минимальная допустимая степень защиты оболочек электрических машин для данной пожароопасной зоны обозначается IP44. Использование данной степени защиты – одно из направлений профилактики, оно должно быть установлено на объектах, где воздействие опасных факторов пожара может

привести к травматизму или гибели людей .

Согласно «Правилам классификации и постройки морских судов» [21] машинное отделение судна должно быть оснащено автоматической системой пожаротушения, которая помимо выполнения функции пожаротушения выполняет функцию оповещения о пожаре, для своевременной эвакуации людей.

Электропоражение персонала, работающего с электроустановками, является опасным для жизни человека и наступает при соприкосновении его с сетью не менее чем в двух точках. При разработке коллективных и индивидуальных средств защиты от электропоражения необходимо, согласно правилам устройства электроустановок, рассмотреть следующие вопросы:

- обоснование категории помещения по степени опасности поражения электрическим током;
- требования к электрооборудованию;
- анализ соответствия реального положения на производстве перечисленным требованиям;
- мероприятия по устранению обнаруженных несоответствий;
- обоснование мероприятий и средств защиты, работающих от поражения электрическим током.

Рассматриваемое помещение не имеет характеристик, свойственных особо опасным помещениям в части поражения электрическим током. Необходимо применение основных коллективных способов и средств электрозащиты: изоляция проводов и её непрерывный контроль; предупредительная сигнализация и блокировка; использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов; защитное заземление и защитное отключение.

Также, используются индивидуальные электрозащитные средства. В установках до 1000 В используются диэлектрические перчатки, указатели напряжения, диэлектрические коврики и боты, изолирующие подставки, а также инструмент с изолированными рукоятками.

6.3. Охрана окружающей среды

Работа на данном участке сопряжена с образованием и выделением газообразных, жидких и твердых отходов.

Газообразные отходы, загрязняющие воздух: естественные выделения - углекислый газ, пары воды, летучие органические соединения - ЛОС (альдегиды, кетоны), азотистые соединения и др. органов дыхания человека; бытовая пыль; ЛОС, выделяющиеся в процессе эксплуатации отделочных материалов, лакокрасочных покрытий мебели и др. Перед выбросом воздух помещений подвергается обязательной очистке в фильтровентиляционных системах, что предотвращает атмосферу от загрязнения. Жидкие отходы - бытовые отходы, образующиеся в процессах влажной уборки помещений, при пользовании водопроводом, туалетом и т.п., сбрасываются в городскую канализацию и далее поступают в системы централизованной очистки на городских очистных сооружениях.

Люминесцентные лампы, применяемые для искусственного освещения, являются ртутьсодержащими и относятся к 1 классу опасности. Ртуть люминесцентных ламп способна к активной воздушной и водной миграции. Интоксикация возможна только в случае разгерметизации колбы, поэтому основным требованием экологической безопасности является сохранность целостности отработанных ртутьсодержащих ламп. Отработанные газоразрядные лампы помещают в защитную упаковку, предотвращающую повреждение стеклянной колбы, и передают специализированной организации для обезвреживания и переработки. В случае боя ртутьсодержащих ламп осколки собирают щеткой или скребком в герметичный металлический контейнер с плотно закрывающейся крышкой, заполненный раствором марганцовокислого калия. Поверхности, загрязненные боем лампы, необходимо обработать раствором марганцовокислого калия и смыть водой. Контейнер и его внутренняя поверхность должны быть изготовлены из неабсорбирующего ртуть материала.

6.4. Защита в чрезвычайных ситуациях

Наиболее вероятные чрезвычайные ситуации машинном зале – возникновение пожара и электропоражение.

Основными причинами пожара могут быть: перегрузка проводов, короткое замыкание, большие переходные сопротивления в электрических цепях, электрическая дуга, искрение и неисправности оборудования.

Согласно [29], пожарная профилактика обеспечивается: системой предотвращения пожара; системой противопожарной защиты; организационно - техническими мероприятиями. К мерам предотвращения пожара относятся: применение средств защитного отключения возможных источников загорания (защитного зануления); применение искробезопасного оборудования; применение устройства молниезащиты здания; выполнение правил (инструкций) по пожарной безопасности.

К мерам противопожарной защиты относятся: применение пожарных извещателей; средств коллективной и индивидуальной защиты от факторов пожара; системы автоматической пожарной сигнализации; порошковых или углекислотных огнетушителей, два ящика с песком 0,5 м³.

Организационно-технические мероприятия: наглядная агитация и инструктаж работающих по пожарной безопасности; разработка схемы действий администрации и работающих в случае пожара и организация эвакуации людей; организация внештатной пожарной дружины.

При обнаружении загорания рабочий немедленно сообщает по телефону 01 в пожарную охрану, сообщает руководителю, приступают к эвакуации людей и материальных ценностей. Тушение пожара организуется первичными средствами с момента обнаружения пожара. Пострадавшим при пожаре обеспечивается скорая медицинская помощь.

Современная система электробезопасности обеспечивает защиту от поражения в двух наиболее вероятных и опасных случаях:

– при прямом прикосновении к токоведущим

частям электрооборудования;

- при косвенном прикосновении.

Под косвенным прикосновением понимается прикосновение человека к открытым проводящим частям оборудования, на которых в нормальном режиме (исправном состоянии) электроустановки отсутствует электрический потенциал, но при каких-либо неисправностях, вызвавших нарушение изоляции или ее пробой на корпус, на этих частях возможно появление опасного для жизни человека потенциала.

Для защиты от прямого прикосновения к токоведущим частям, согласно [3] служат изоляция токоведущих частей, применение ограждений и оболочек, установка барьеров, размещение вне зоны досягаемости, устройства защитного отключения (УЗО).

Для защиты от косвенного прикосновения применяются: защитное заземление и защитное зануление.

Даже если при электропоражении работающий внешне сохранил формат нормального самочувствия, он должен быть осмотрен врачом с заключением о состоянии здоровья, т.е. пострадавшему должна быть обеспечена скорая медицинская помощь. Предварительно пострадавший должен быть освобожден от действия электрического тока. Если при этом отключить напряжение быстро невозможно, освобождение от электричества пострадавшего необходимо производить, изолировав себя диэлектрическими перчатками или галошами. При необходимости перерезать провода (каждый в отдельности) инструментом с изолированными ручками. Если есть необходимость (при потере сознания, остановке сердца и т.п.) оказания первой помощи, то до прибытия медработника необходимо начать делать: наружный массаж сердца, искусственное дыхание.

Для предотвращения от поражения электрическим током при прикосновении к корпусам электроустановок, находящихся под напряжением при пробое изоляции или в других случаях, необходимо рассчитать и установить защитное заземление.

Защитным заземлением называют преднамеренное электрическое соединение металлическим проводником какого-либо электрического устройства с землей или ее эквивалентом (металлическим корпусом судна).

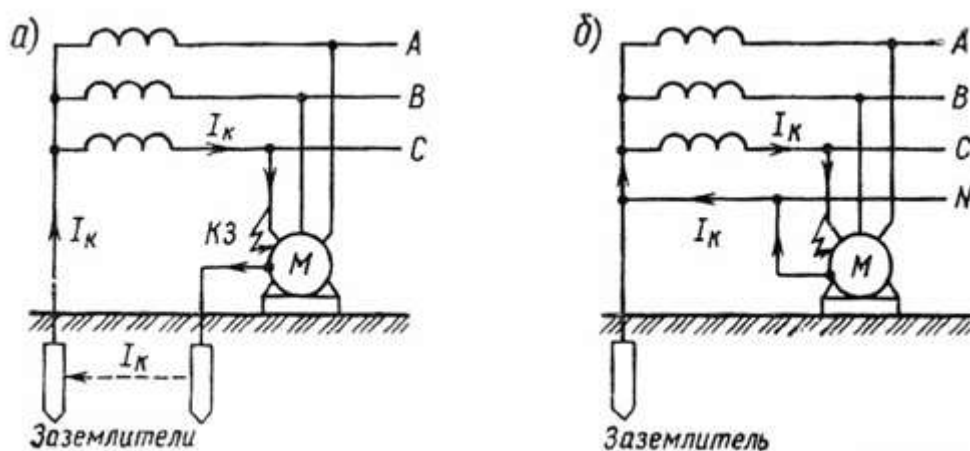


Рисунок 40 а) схема защитного заземления б) схема защитного зануления

Заземлению подлежат все нетоковедущие металлические части судового электрооборудования, которые вследствие повреждения изоляции могут оказаться под напряжением. Прикосновение к металлическим частям оборудования, оказавшимся под напряжением и не имеющим непосредственного контакта с землей, так же опасно, как и прикосновение к не изолированной токоведущей части цепи (фазе).

На судах заземляются корпуса электрических машин, их пуско-регулирующая аппаратура, корпуса трансформаторов, металлорежущих станков, распределительных устройств, кожухи рубильников, коммутационная и защитная аппаратура, светильники, измерительная аппаратура и приборы управления судном, металлические оболочки кабелей, ручной электроинструмент, предназначенный для работы при напряжениях выше 24 В постоянного и 12 В переменного тока.

Заземляющим устройством называют совокупность металлического заземлителя, находящегося в непосредственном контакте с землей или ее эквивалентом, и заземляющих проводов, служащих для соединения

заземлителей и металлических частей электрооборудования. Заземляющие соединения выполняются из меди или другого немагнитного эквивалентного ей металла.

Правилами Регистра определяются сечения заземляющих проводов в зависимости от мощности электрогенераторов. Минимальное сечение заземляющего провода от $2,5 \text{ мм}^2$ (для мелких приборов) до 4 мм^2 . Сила тока, проходящего через тело человека, определяется сопротивлением защитного заземления, чем меньше сопротивление заземления, тем ниже эта величина, т. е. вероятность поражения электротоком снижается.

Сопротивление защитного заземления нормируется. Так, для установок напряжением до 1000 В оно не должно превышать 4 Ом , в установках напряжением свыше 1000 В с малыми токами замыкания на землю и без компенсации емкостных токов — не более 10 . Расчет и нормирование сопротивлений заземляющих устройств производятся исходя из условий безопасности при случайном прикосновении человека к оборудованию, оказавшемуся под напряжением. В судовых цепях напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью нормированное наибольшее напряжение прикосновения $U_{пр} = 40 \text{ В}$ считается безопасным.

Согласно Правилам устройства электроустановок в цепях напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью наибольшая возможная сила тока замыкания на землю I_{ym} не превышает 10 А . Тогда минимальное сопротивление заземления R_3 , обеспечивающее снижение напряжения прикосновения до безопасной величины, будет:

$$R_3 = U_{пр}/I_y = 40/10 = 4 \text{ Ом}$$

Практически же сила токов утечки не превышает $4 - 6 \text{ А}$, поэтому при величине нормированного сопротивления заземления $R_3 = 4 \text{ Ом}$ напряжение прикосновения еще более снижается:

$$U_{пр} = I_{ym} \cdot R_3 = 6 \cdot 4 = 24 \text{ В}.$$

6.5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Безопасность труда на морских судах регулируется в соответствии с «Правилами техники безопасности на судах морского флота» [30].

Командный состав судов (включая первых помощников капитана и судовых врачей) обязан изучить настоящие Правила и проходить ежегодную проверку знаний настоящих Правил.

Весь личный состав судов должен пройти инструктаж и обучение по технике безопасности.

Ответственность за правильную организацию и качество инструктажа по технике безопасности членов экипажей на рабочем месте (первичного, повторного и внеочередного) возлагается на капитанов судов. Контроль за качеством инструктажа и соблюдением правил техники безопасности на судах возлагается на работников пароходства (порта, управления морского пути) по технике безопасности, капитанов-наставников, механиков-наставников, групповых механиков и инженеров электрорадионавигационных камер.

Рядовой состав судов обязан изучить инструкции по технике безопасности в соответствии со своей профессией и выполняемой работой. При поступлении на судно знания проверяют: у членов палубной команды и обслуживающего персонала - старший помощник капитана, у членов машинной команды - старший механик; повторно проверки знаний производятся не реже двух раз в год.

К самостоятельной работе на судне и обслуживанию механизмов допускаются лица не моложе восемнадцати лет. Они должны:

- иметь удостоверение (свидетельство) о прохождении квалификационной комиссии и медицинскую книжку с отметкой или свидетельство о пригодности к работе по состоянию здоровья, выдаваемые бассейновой или портовой поликлиникой;
- твердо знать инструкции по технике безопасности и обслуживанию поручаемых им механизмов;
- уметь правильно пользоваться защитными и предохранительными

приспособлениями, необходимыми в процессе работы;

- уметь оказывать первую помощь при несчастных случаях.

Ни один вновь поступающий член экипажа рядового состава не может быть направлен на судно, если он не прошел вводный инструктаж по технике безопасности, лица командного состава - без проверки знаний Правил техники безопасности и других руководящих документов по охране труда, проводимой в комиссиях при пароходствах.

Без первичного инструктажа на рабочем месте и проверки знаний по профессии пришедший на судно член экипажа рядового состава не может быть допущен к выполнению судовых работ.

Примечание. Первый помощник капитана и судовой врач при поступлении на работу должны пройти вводный инструктаж, а по приходе на судно – получить от капитана общий инструктаж о специфике и характере работы судна.

Все члены экипажа судна должны быть проинструктированы по безопасной работе на прачечном оборудовании (стиральных машинах, центрифугах и др.) и прочем бытовом оборудовании, предназначенном для самообслуживания.

Обо всех замеченных неисправностях оборудования, систем, различных устройств, трапов и т.п., представляющих опасность, а также обо всех нарушениях правил и инструкций по технике безопасности каждый член экипажа судна обязан немедленно сообщить своему непосредственному начальнику.

Работники Министерства, пароходств, портов, морских путей, а также научно-исследовательских, проектно-конструкторских, инспектирующих и всех других организаций, связанные с необходимостью посещения судов, обязаны изучить настоящие Правила применительно к занимаемой должности, выполняемым работам и строго соблюдать их при посещении судов, а также при разработке организационно-технических мероприятий на флоте.

Все совершеннолетние члены семей моряков, прибывающие на судно,

должны быть ознакомлены с Инструкцией по технике безопасности для членов семей моряков, прибывающих на судно, и расписаться в этом у вахтенного помощника капитана, который обязан напомнить им о необходимости твердого знания и тщательного соблюдения требований техники безопасности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения работы на тему «Электрооборудование и электропривод судового вентилятора по системе ПЧ-АД» были решены все поставленные задачи.

В работе было спроектировано электрооборудование, с помощью которого приводится в движение асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором по системе ПЧ-АД. Для двигателя подобраны вспомогательные устройства и устройства защиты. С помощью такой системы, двигатель показывает хорошие показатели в регулировании. Работа двигателя будет заключаться в его продолжительном режиме работы в условии, где требуется степень защиты IP 20.

Рассмотрены экологические, эстетические аспекты проектирования электропривода. Учтены вопросы о безопасности труда и вопросы разработки функциональной схемы системы регулируемого электропривода, который включил в себя составление схемы управления регулируемого электропривода и выбор аппаратуры управления и защиты.

Рассчитаны и построены статические и динамические характеристики, электромеханические переходные характеристики. Разработана функциональная схема системы регулируемого электропривода.

Исходя из полученных переходных характеристик на рисунках 25 и 26, можно сказать, что при пропорциональном уменьшении частоты и напряжения уменьшается величина номинальной скорости и время достижения этой скорости, а также уменьшается электромагнитный момент.

Смоделирована в среде MATLAB 2012 модель пуска асинхронного двигателя и получены переходные процессы, удовлетворяющие технологическому процессу. Время переходного процесса при пуске колеблется от 0,3-0,6 секунд. При набросе и сбросе нагрузок, успешно выходит на

требуемую от него скорость, из этого следует, что расчеты, произведенные в программе MathCad верны.

Произведен анализ технического проекта в разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», а именно проработаны следующие темы: SWOT-анализ, планово-временные и материальные показатели процесса проектирования. Далее был разработан план-график выполнения технического проекта, а также с помощью интегрального показателя определена ресурсоэффективность проекта.

В разделе «Социальная ответственность» представлены оценка условий труда, приведен анализ вредных и опасных факторов, рассмотрены меры защиты от опасных факторов, пожарная безопасность и охрана окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дементьев Ю.Н., Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Электрический привод: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 224 с.
2. Шеховцев В.П. Расчет и проектирование ОУ и электроустановок промышленных механизмов / В.П. Шеховцев. – М. : ФОРУМ, 2010. – 352 с.: ил.
3. Насосы. Вентиляторы. Кондиционеры: Справочник/Е.М. Росляков, Н.В. Коченков, И.В. Золотухин др., Под редакцией Е.М. Росляков – СПб.: Политехника, 2006. – 822с.
4. О.П. Мальцева, Системы управления асинхронных частотно-регулируемых электроприводов: учебное пособие / О.П. Мальцева, Л.С. Удуг, Н.В. Кояин; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 476 с.
5. К.Н. Чайников. Общее устройство судов. Издательство «Судостроение» Ленинград 1971.
6. [Правила устройства электроустановок \[Текст\]: Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. – Новосибирск: Сиб. Унив. Изд-во, 2009. – 853 с.,](#)
7. Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. – Томск: ТПУ, 2014. – 37 с.
8. Томпсон А.А., Стрикленд Дж.А. Стратегический менеджмент: концепции и ситуации для анализа, 12-е издание: Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2006 – 928 с.
9. Виханский О.С. Стратегическое управление. – М.: Гардарика, 2009. – 164 с.
10. Бородин Ю.В., Извеков В.Н., Ларионова Е.В., Плахов А.М. Методические указания по разработке раздела «Социальная ответственность». – Томск: ТПУ, 2014. – 9 с.

11. Извеков В.Н, Гусельников М.Э., Крепша Н.В., Панин В.Ф. Методические указания по разработке раздела «Производственная и экологическая безопасность». – Томск: ТПУ, 2006. – 42 с.
12. А. М. Прохоров. Большая советская энциклопедия: [в 30 т.] // Вентилятор / гл. ред. А. М. Прохоров. – 3-е изд. – М. : Советская энциклопедия, 1969–1978.
13. Петрович В. П. Силовые преобразователи электрической энергии: учебное пособие / В. П. Петрович, Н. А. Воронина, А. В. Глазачев; Томский политехнический университет (ТПУ). – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 240 с.
14. Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи: материалы III российской молодежной научной школы-конференции / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ООО «СКАН», 2015. - 324 с.
15. Судовая система вентиляции и кондиционирования [Электронный ресурс] / korabel.ru – Режим доступа: <http://www.korabel.ru/putevoditel/condition.html> (свободный дата обращения 27.03.16)
16. Морские судовые вентиляторы – каталог систем вентиляции корабля (судна) [Электронный ресурс] / sudo-prom.ru – Режим доступа: <http://sudo-prom.ru/morskie-sudovye-ventilyatory.html> (свободный дата обращения 27.03.16)
17. Электродвигатель АИР100S4 [Электронный ресурс] / esbk.ru – Режим доступа: http://www.esbk.ru/products_info/ed/101_ed_as_obprom/elektrodivigatel_air_100s4.html (свободный дата обращения: 27.03.16)
18. Школа для электрика [Электронный ресурс] / electricalschool.info – Режим доступа: <http://electricalschool.info/econom/721-chastotnyjj-preobrazovatel-dlja.html> (свободный дата обращения 27.03.16)

19. Частотный преобразователь Siemens MICROMASTER 420 (6SE6420-2AC23-0CA1) [Электронный ресурс] / elleron.ru – Режим доступа: <http://elleron.ru/catalog/chastotnye-preobrazovateli/siemens/micromaster-420/chastotnyy-preobrazovatel-siemens-6se6420-2ac23-0ca1-tok-13-6a-3kvt-220v/> (свободный дата обращения: 27.03.16)
20. IGBT транзисторы. Справочник. [Электронный ресурс] / trzrus.ru – Режим доступа: <http://trzrus.ru/rec/recany.htm?2../igbt.htm> (свободный дата обращения 27.03.16)
21. Контактор Schneider-electric LC1K1610Q7 [Электронный ресурс] / electro-portal.com – Режим доступа: <http://www.electro-portal.com/product/show/13875> (сводный дата обращения 27.03.16)
22. Автоматический выключатель Schneider Electric EasyPact TVS GZ1E16 [Электронный ресурс] / acti-pro.ru – Режим доступа: <http://acti-pro.ru/produksiya/avtomaty-schneider-electric-easypact-tvs-gz1e-vamu/gz1e16.html> (свободный дата обращения 27.03.16)
23. Кабель TOXFREE MARINE XTCuZ1-K (AS) [Электронный ресурс] / contactica.ru – Режим доступа: [http://www.contactica.ru/product/ekranirovannyiy_kabel_dlya_sudov_i_morsk_ih_platform_TOXFREE_MARINE_XTCuZ1-K_\(AS\)-550450/](http://www.contactica.ru/product/ekranirovannyiy_kabel_dlya_sudov_i_morsk_ih_platform_TOXFREE_MARINE_XTCuZ1-K_(AS)-550450/) (свободный дата обращения 27.03.16)
24. ГОСТ 12.1.004-91 СИСТЕМА СТАНДАРТОВ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА. ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ.
25. ГОСТ 12.1.005-88 СИСТЕМА СТАНДАРТОВ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА. ОБЩИЕ САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВОЗДУХУ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ.
26. СанПиН 2.5.2-703-98 «СУДА ВНУТРЕННЕГО И СМЕШАННОГО (РЕКА-МОРЕ) ПЛАВАНИЯ»

27. ГОСТ Р 52350.19 «Ремонт, проверка и восстановление электрооборудования»
28. ГОСТ 12.0.002-97 «Система стандартов безопасности труда. Термины и определения»
29. ГОСТ 24389–89 «Системы кондиционирования воздуха, вентиляции и отопления судов. Расчетные параметры воздуха и расчетная температура забортной воды»
30. СН 2.5.2.047-96 [30] "Уровни шума на морских судах"
31. СНиП 23-05-95 «ЕСТЕСТВЕННОЕ И ИСКУССТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ»
32. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03
33. Конвенция МАРПОЛ 73/78
34. ГОСТ 12.0.004-78 «Организация обучения работающих безопасности

ПРИЛОЖЕНИЯ

INTRODUCTION

Separate methods of ventilation of enclosed premises were in ancient times. Until the beginning of the XIX century, ventilation of the rooms was an aeration. M. V. Lomonosov created the theory of natural air movement in pipes and canals. V. H. Fribe stated the main facts that determine the intensity of air change in rooms through the cracks doors and windows in 1795 [12].

The development of ventilation with a thermal motivation of supply air and air removed from the room started of the XIX century. A. H. Lend said that ventilation can only be mechanical.

With the introduction of centrifugal fans, the ventilation technology of the premises is rapidly improving. A. A. Sabulkov produced the first successful centrifugal fan in 1832. This fan was used in Chagirsky mine in the Altai in 1835. Sablukov proposed it for air condition in the rooms, to speed up drying, ventilation of ship rooms. The extensive spread of ventilation with mechanical motivation of air movement began by the end of the XIX century.

1. OBJECT OF AUTOMATION

A fan is a mechanism designed to move air or gases with increasing pressure. According to the design and principle of operation, the fans are divided into centrifugal and axial. Their principle of operation is identical. Usually centrifugal fans are performed in horizontal type, axial fans – in vertical type. [3, 12].

By purpose, they are divided supply fans, exhaust fans and wind-making fans. Supply fans are designed to inject air into a room or device. Usually such fans are called delivery fans. Exhaust fans are designed to remove air from a room or device. Wind-making fans are designed to create forced air circulation.

According to the produced pressure, the fans are divided into low-pressure fans, developing a pressure of up to $1 \text{ kN} / \text{m}^2$ (100 mm Hg), medium pressure up to $3.0 \text{ kN} / \text{m}^2$ (300 mm Hg) and high pressure - up to $15 \text{ kN} / \text{m}^2$ (1500 mm Hg).

For service and residential rooms, supply and exhaust fans of centrifugal and axial types are used with a capacity of up to $50,000 \text{ m}^3 / \text{h}$ at a pressure of 0.5 to $2.0 \text{ kN} / \text{m}^2$ (50-200 mm Hg).

Boiler fans supply air to the steam generators to ensure complete combustion of the fuel. For this purpose, centrifugal fans are used with a capacity of up to $180,000 \text{ m}^3 / \text{h}$ and pressure of up to $13.0 \text{ kN} / \text{m}^2$ (1300 mm H₂O). In some boiler plants, so-called smoke exhausters are used, designed to suck off gases from steam generators and improve thrust in them. As fans, axial-type fans are used. Boiler fans are not included in the ventilation system.

For the ventilation of rooms supply and exhaust, centrifugal and axial fans are used [16].

Figure 1 shows the construction of a boiler fan, often installed on ships. The fan consists of a body 1, an impeller 2 with blades, a receiving branch pipe 3 and a shaft 4 rotating from the electric motor 5. When the impeller rotates, the air is sucked through the intake pipe 3, directed to the periphery of the housing and further into the discharge pipe (the air outlet shown by an arrow).

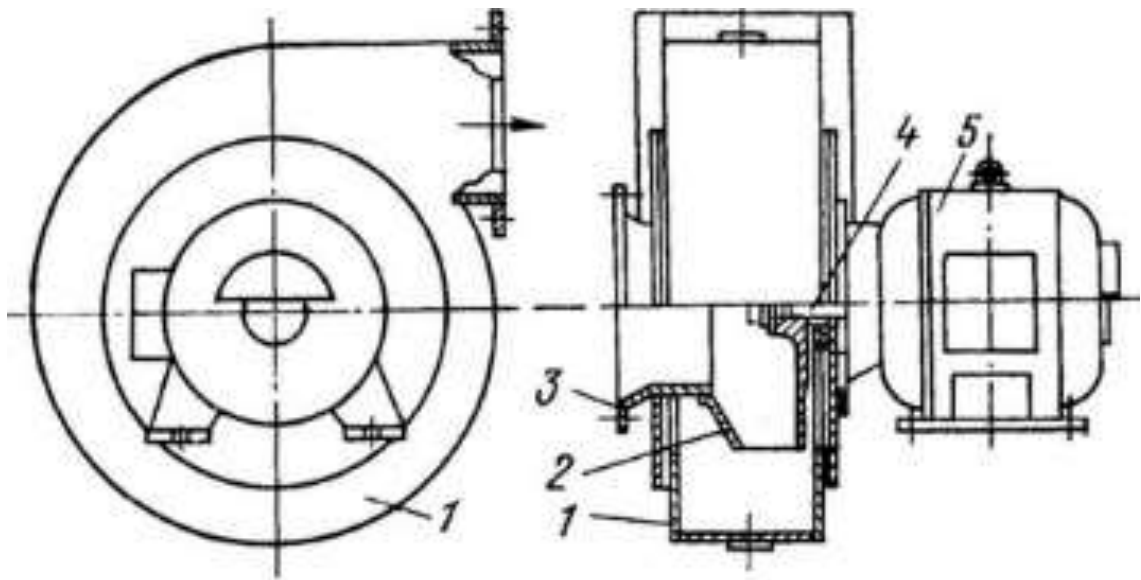


Figure 1 - Construction of the boiler fan

Axial fans are simpler in design and are more compact than centrifugal, but they develop less pressure. Therefore, axial fans used where pressure is low and sufficient capacity are required.

In addition to stationary on board, portable fans are used. They used for ventilation of rooms that are not equipped with stationary fans.

The fan drive is usually electric. The electric fans consist of a set of rotating blades placed in a protective casing that allows air to pass through it. The blades are driven by an electric motor. For large industrial fans, three-phase asynchronous motors are used. Smaller fans are usually driven by an AC motor with a shielded pole, brush or brushless direct current motor (DCM). Fans with a drive from alternating current motors usually use the mains voltage. Fans driven by alternating current motor (ACM) use a sufficiently low voltage, 24 V, 12 V or 5 V. In cooling fans for computers, only brushless DC motor are used that produce significantly less electromagnetic interference during operation. In machines with an engine, the fan is most often connected directly to it - this can be seen in cars, in large cooling systems. Also, the fans are located on the same shaft of many electric motors with a power of 1 kW or more, passing through the motor windings a cooling air - self-ventilation of the electric

motor. To prevent the spread of vibration through the channel, fans are supplemented with fabric compensators or elastic inserts.

1.5. Ventilation system

The ventilation system is a set of technical means that ensure a constant maintenance of the normal air atmosphere in the ships premises. Ventilation of premises can be:

- supply,
- exhaust,
- combined.

The use of this or that ventilation scheme depends on the size of the room and its contamination. Supply ventilation is mainly used in cabins, salons, command rooms, creating increased air pressure and preventing air pollution. The exhaust system is arranged in highly polluted premises, such as laundries, smoking rooms, galley. The combined is usually used in very large rooms, providing the most intensive air exchange. According to the principle of operation, natural and artificial ventilation is distinguished. Natural ventilation is due to the difference in air pressure inside the premises, as well as due to the strength of the wind and the movement of the vessel. For this purpose, various vent pipes are installed on ships, with upper ends emerging on the open deck and equipped with turning heads.

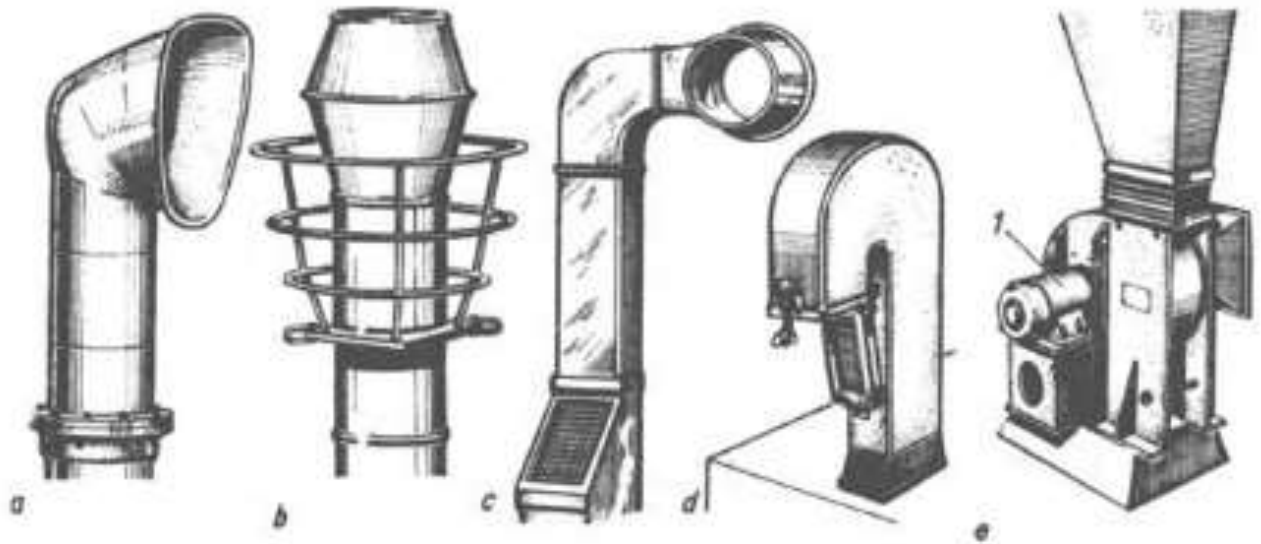


Figure 3 - Variations of the heads of the ventilation pipes: a – supply head; b - exhaust; c - cabin fan; d - curved fan; e - centrifugal fan.

Artificial ventilation is provided by the use of electric fans or compressors that pump or draw air from the premises through special air ducts. Ventilation system according to purpose are divided into:

- general, operating in residential, office and domestic facilities;
- ventilation of machinery and boiler rooms;
- ventilation of cargo rooms.

General ventilation is usually artificial. It is done on a group basis, when several fans of the same type are installed with an air duct fun, from which air branch lines comes to each room. The ventilation of the machine-boiler rooms is always carried out as independent, supply or combined with a predominantly exhaust one. The ventilation of cargo rooms is made separate for each room and can be both natural and artificial.

Electric drive is an electromechanical system that consists of an electric motor, a converter, a transmission and a control device intended for driving the actuators of a working machine and controlling this movement [1].

1.8 Automation of the ventilation system

When controlling the heat output of the supply air systems, the most common method is to change the coolant flow rate. A method for automatic control of the air temperature at the outlet from the supply chamber by changing the air flow is also used. However, when these methods are used separately, the maximum permissible use of the heat carrier energy is not provided.

In order to increase the economy and speed of the control process, it is possible to apply the combined method of changing the heating capacity of the plant air heaters. In this case, the automatic control system for the supply air chamber provides:

- selection of the way to control the supply chamber (local, local buttons, automatic control panel), as well as winter and summer operation modes;
- control of supply air temperature by acting on the actuator of the valve on the coolant;
- automatic change in the ratio of airflow through air heaters and bypass channel;
- protection of air heaters against freezing in the standby operating mode of the supply chamber;
- automatic deactivation of fans when the frost protection is activated in the operating mode;
- automatic turning on of the control loop and opening of the external air intake valve when the fan is switched on;
- alarm for freezing air heater; signaling of normal operation of the supply chamber in automatic mode and preparation for motor start-up.

To remove excessive heat generated during the operation of machine room, a ventilation system is installed on the vessel that provides the required climatic conditions according to SanPiN 2.5.2.703-98. Air exchange in the machine room is carried out by means of natural exhaust and artificial supply ventilation [2].

A fan that is directly connected to an asynchronous motor supplies the volume of air needed to remove heat.

In order to increase the reliability of the ventilation system, a frequency-controlled asynchronous electric drive for the fan and a programmable logic controller is used.

The block diagram of the automatic ventilation system is show in Figure 5.

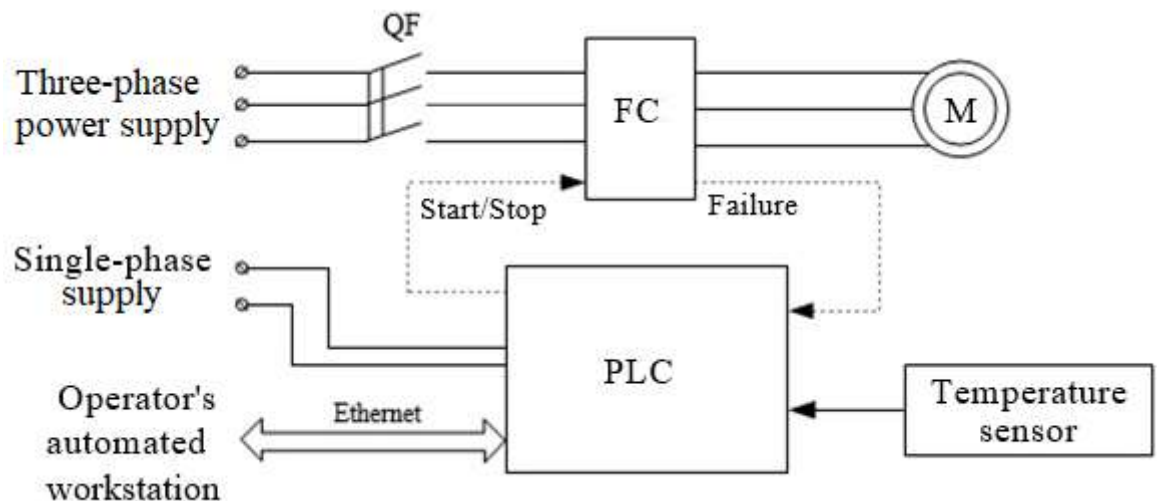


Figure 5 - Block diagram of automatic ventilation system

The use of a programmable logic controller in the drive system allows it to be controlled depending on the value of the regulated process variable, and also to provide control of the backup electric drive in the event of faults and malfunctions of the main one. In addition to forming remote control commands, the controller provides a remote signaling about the current state of the system to the upper level (the operator's workplace).

The programmable logic controller (PLC) is designed to generate a speed reference signal of the electric drive, as well as to stop it. The reference signal is a present «open collector» signal and comes from the digital output of the PLC to the digital input of the frequency converter. Signals of faults and alarms from the digital outputs of frequency converters are received at the digital input of the PLC.

The temperature sensor is an analog temperature converter with an analog signal range of 0 - 10 V, which corresponds to a temperature range from 0 to 100 ° C. The output signal of the temperature sensor is fed to the analog input of the controller.

The PLC generates control actions on the frequency converters depending on the temperature value, as well as the presence of malfunctions in the system, as well as the output of the remote signaling about the current state of the system.

The connection between the controller and the operators automated workstation (operator's workstation), which is the upper level of the automated control system, is carried out via an Ethernet interface with a transfer rate of 100 Mbit / s.

The algorithm of the automatic ventilation system is show in Figure 6.

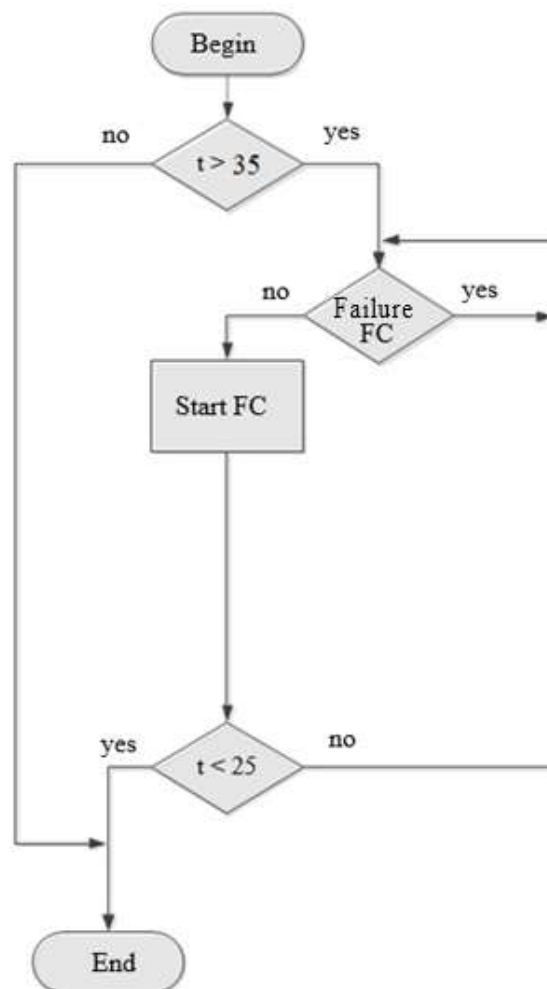


Figure 6 - Algorithm of the automatic ventilation system

In accordance with this algorithm, the following main modes of operation of the system can be distinguished:

- start of the frequency converter at excess of temperature plus 35 ° C;
- stop of the frequency converter when the temperature is reached plus 25 ° C and below.

3. CALCULATION OF STATIC AND DYNAMIC CHARACTERISTICS FOR THE OPEN SYSTEM OF A VARIABLE SPEED DRIVE

3.1. Calculation of natural characteristics $\omega = f(I)$, $\omega = f(M)$ of controlled electric drive system

Synchronous angular rotation speed of the motor is:

$$\omega_c = \frac{\pi \cdot n_c}{30} = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157,08 \text{ [rps]}$$

Rated motor speed is:

$$n_{\text{дв.н}} = (1 - S_{\text{н}}) \cdot n_c = (1 - 0,06) \cdot 1500 = 1410 \text{ [rpm]}$$

Rated angular speed is:

$$\omega_{\text{дв.н}} = (1 - S_{\text{н}}) \cdot \omega_c = (1 - 0,06) \cdot 157,08 = 147,655 \text{ [rps]}$$

Rated motor torque is:

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв}}}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{3000}{147,655} = 20,318 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

Then the nominal phase current is:

$$I_{\phi\text{н}} = \frac{P_{\text{дв}}}{m \cdot U_{\phi} \cdot \cos \varphi_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{н}}} = \frac{3000}{3 \cdot 220 \cdot 0,83 \cdot 0,82} = 6,679 \text{ [A]}$$

To calculate the dynamic and static characteristics of IM, we find the parameters of the equivalent circuit. The T - shaped equivalent circuit for IM one phase is shown in Figure 22.

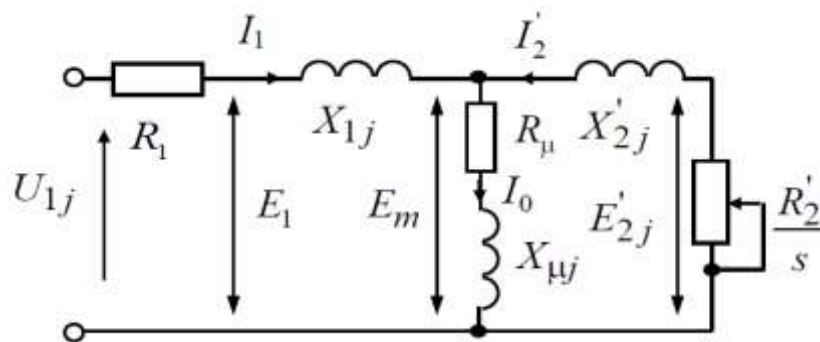


Figure 22 - Equivalent circuit for IM

Before calculating the inductive and active resistances (parameters of the equivalent circuit), the windings of the rotor and the stator, we determine the following coefficients:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{\phi H}} = 1 + \frac{2,089}{2 \cdot 7 \cdot 6,679} = 1,022;$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{\phi}^2 \cdot (1 - S_H)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{\max} \cdot P_{\text{дв}}} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,06)}{2 \cdot 1,022 \cdot 2,2 \cdot 3000} = 10,114.$$

The active resistance of the stator winding is determined by the expression is:

$$R_1 = C_1 \cdot R'_2 \cdot \beta = 1,022 \cdot 2,248 \cdot 1 = 2,299 \text{ } [\Omega]$$

Active rotor resistance, reduced to the stator winding of IM is:

$$R'_2 = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{S_{\text{кр}}} \right) \cdot C_1} = \frac{10,114}{\left(1 + \frac{1}{0,294} \right) \cdot 1,022} = 2,248 \text{ } [\Omega]$$

Parameter γ for determining the short-circuit resistance is:

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{S_{\text{кр}}^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,294^2} - 1^2} = 3,25;$$

$$X_{\text{к}} = \gamma \cdot C_1 \cdot R'_2 = 3,25 \cdot 1,022 \cdot 2,248 = 7,47 \text{ } [\Omega]$$

Meanwhile, the inductive impedance of the rotor winding, reduced to the stator winding, can approximately be calculated:

$$X'_2 = 0,58 \cdot \frac{X_{\text{к}}}{C_1} = 0,58 \cdot \frac{7,47}{1,022} = 4,238 \text{ } [\Omega]$$

Inductive impedance of the stator winding is:

$$X_1 = 0,42 \cdot X_{\text{к}} = 0,42 \cdot 7,47 = 3,137 \text{ } [\Omega]$$

The inductive impedance of the magnetizing circuit is found through the value of the electromotive force (EMF) of the stator winding is:

$$E_1 = \sqrt{\left(U_{\phi} \cdot \cos \varphi_H - R_1 \cdot I_{\phi H} \right)^2 + \left(U_{\phi} \cdot \sin \varphi_H + X_1 \cdot I_{\phi H} \right)^2} =$$

$$= \sqrt{\left(220 \cdot 0,83 - 2,299 \cdot 6,679 \right)^2 + \left(220 \cdot 0,558 + 3,137 \cdot 6,679 \right)^2} = 220,478 \text{ } [\text{V}]$$

Inductive impedance of magnetization is:

$$X_m = \frac{E_1}{I_0} = \frac{220,478}{2,089} = 105,563 \text{ } [\Omega]$$

The inductance of the stator winding is determined by linkage fluxes:

$$L_{1\delta} = \frac{X_1}{2\pi f} = \frac{3,137}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 9,986 \cdot 10^{-3} \text{ } [H]$$

The reduced inductance of the rotor winding is determined by linkage fluxes is:

$$L'_{2\delta} = \frac{X'_2}{2\pi f} = \frac{4,238}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 13 \cdot 10^{-3} \text{ } [H]$$

The resulting inductance is determined by the magnetic flux in the air gap formed by the total action of the stator poles (inductance of the magnetizing circuit):

$$L_m = \frac{X_m}{2\pi f} = \frac{105,563}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,336 \text{ } [H]$$

The found parameters of the motor equivalent circuit are summarized in Table 7.

Table 7 - Parameters of the motor equivalent circuit AIR100S4

R_1, Ω	X_1, Ω	$L_{1\delta}, H$	X_m, Ω	L_m, H	R'_2, Ω	X'_2, Ω	$L'_{2\delta}, H$	X_k, Ω
2,299	3.137	$9,986 \cdot 10^{-3}$	105,563	0.336	2.248	4,238	$13 \cdot 10^{-3}$	7.47

The mechanical characteristics of IM are calculated by the formula:

$$M = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2 \cdot R'_2}{\omega_H \cdot s \cdot \left[\left(R_1 + R'_2 \cdot s^{-1} \right)^2 + \left(X_{1\sigma} + X'_{2\sigma} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 2,248}{157,08 \cdot s \cdot \left[\left(2,299 + 2,248 \cdot s^{-1} \right)^2 + \left(3,137 + 4,238 \right)^2 \right]}.$$

The mechanical characteristic of IM is shown in Figure 24. It is valid in the nominal speed range.

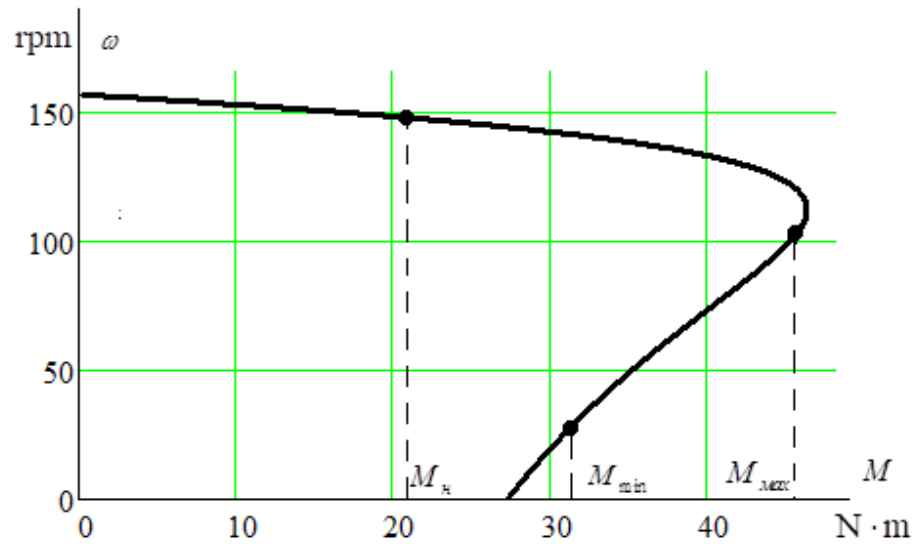


Figure 24 - Mechanical characteristic of an asynchronous motor

The dependence of the rotor current I'_2 to the stator winding on the slip S is calculated as follows:

$$I'_2(s) = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + (X_1 + X'_2)^2}} = \frac{220}{\sqrt{\left(2,299 + \frac{2,248}{s}\right)^2 + (3,137 + 4,238)^2}} [\text{A}]$$

The electromechanical characteristic $I'_2 = f(s)$ curve is shown in Fig. 25.

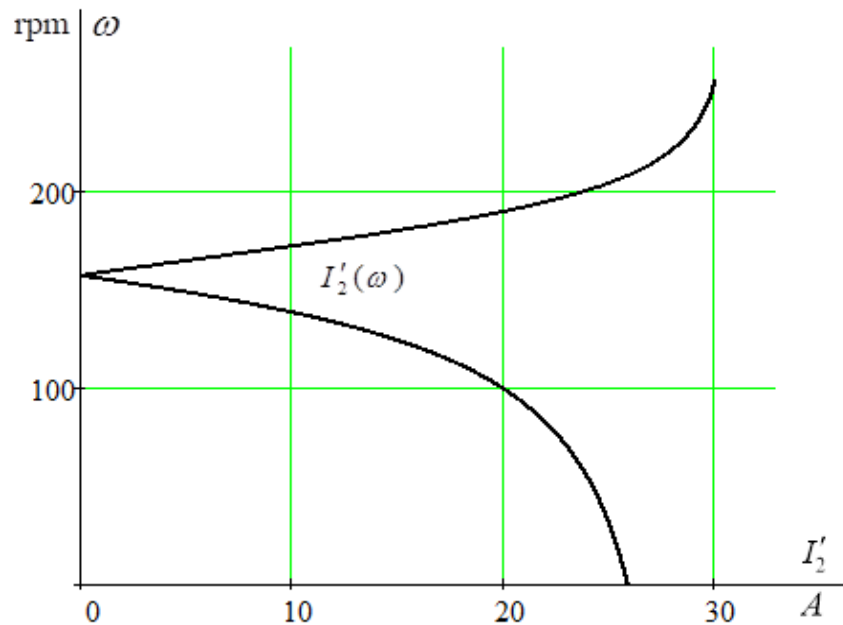


Figure 25 - Electromechanical characteristic curve of the rotor winding current
 $I'_2 = f(s)$

To plot the electromechanical characteristic of the stator current, we use the following expression:

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'(\omega)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(\omega) \cdot \sin \varphi_{2H}} =$$

$$= \sqrt{2,089^2 + I_2'(\omega)^2 + 2 \cdot 2,089 \cdot I_2'(\omega) \cdot \sin \varphi_{2H}},$$

Where $\sin \varphi_{2H} = \frac{X_k}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_k^2}} = \frac{7,47}{\sqrt{\left(2,299 + \frac{2,248}{s}\right)^2 + 7,47^2}}$

The electromechanical characteristics of the motor are shown in Figure 26.

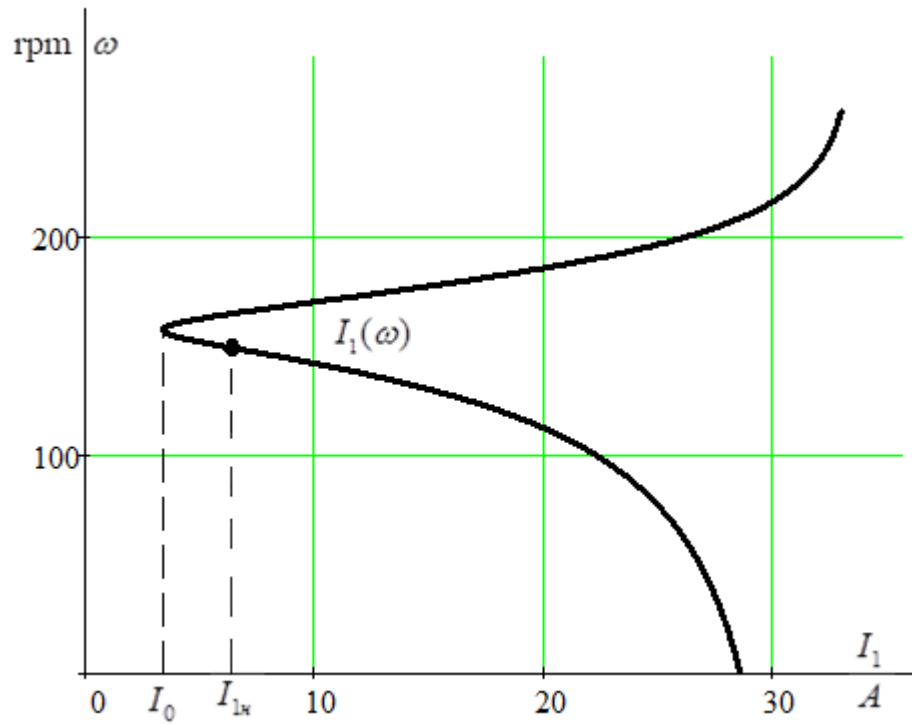


Figure 26 - Natural electromechanical characteristic curve of the IM $I_1 = f(s)$

The nominal current of the stator IM I_{1H} at nominal slip $S_H = 0,06$ is calculated in accordance with the electromechanical characteristic.

The rated current of the rotor is determined at nominal slip:

$$I'_2(s) = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + (X_1 + X'_2)^2}} =$$

$$\frac{220}{\sqrt{\left(2,299 + \frac{2,248}{0,06}\right)^2 + (3,137 + 4,238)^2}} = 5,439 [\text{A}]$$

Rated stator current is:

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I'_2(\omega)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I'_2(\omega) \cdot \sin \varphi_{2H}} =$$

$$\sqrt{2,089^2 + 5,439^2 + 2 \cdot 2,089 \cdot 5,439 \cdot 0,185} =$$

$$= 6,175 [\text{A}]$$

3.2. Calculation of electromechanical transient characteristics $\omega = f(t)$ and $M = f(t)$ IM

Simulation of the asynchronous motor is carried out by means of MATLAB Simulink. To create the simulation model, the parameters of the motor equivalent circuit were used (Table 7).

The simulation model is shown in a Figure 30.

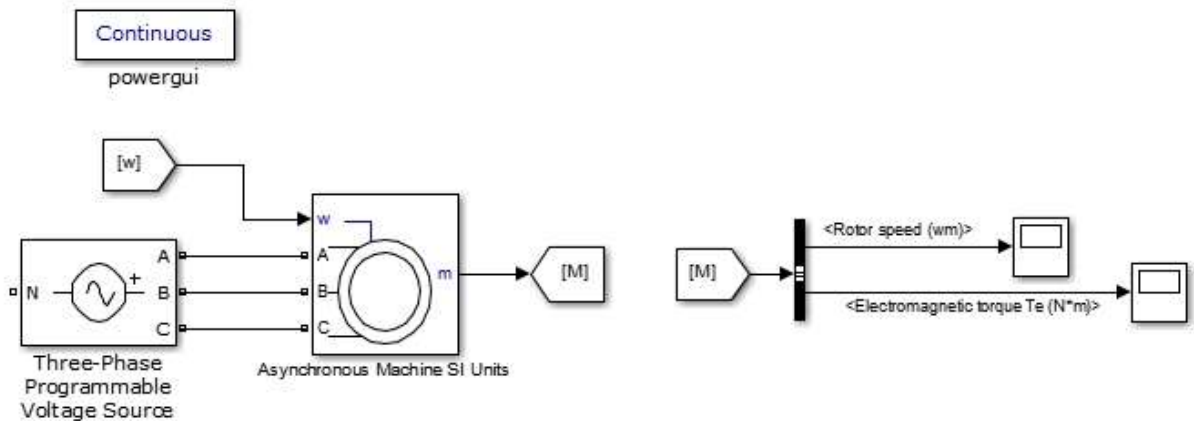


Figure 30 - Simulation model of direct starting of an induction motor

Figures 31, 32 show the transient characteristics of speed and torque, as well as the dynamic mechanical characteristic for direct start-up of the IM with no load and loaded-on.

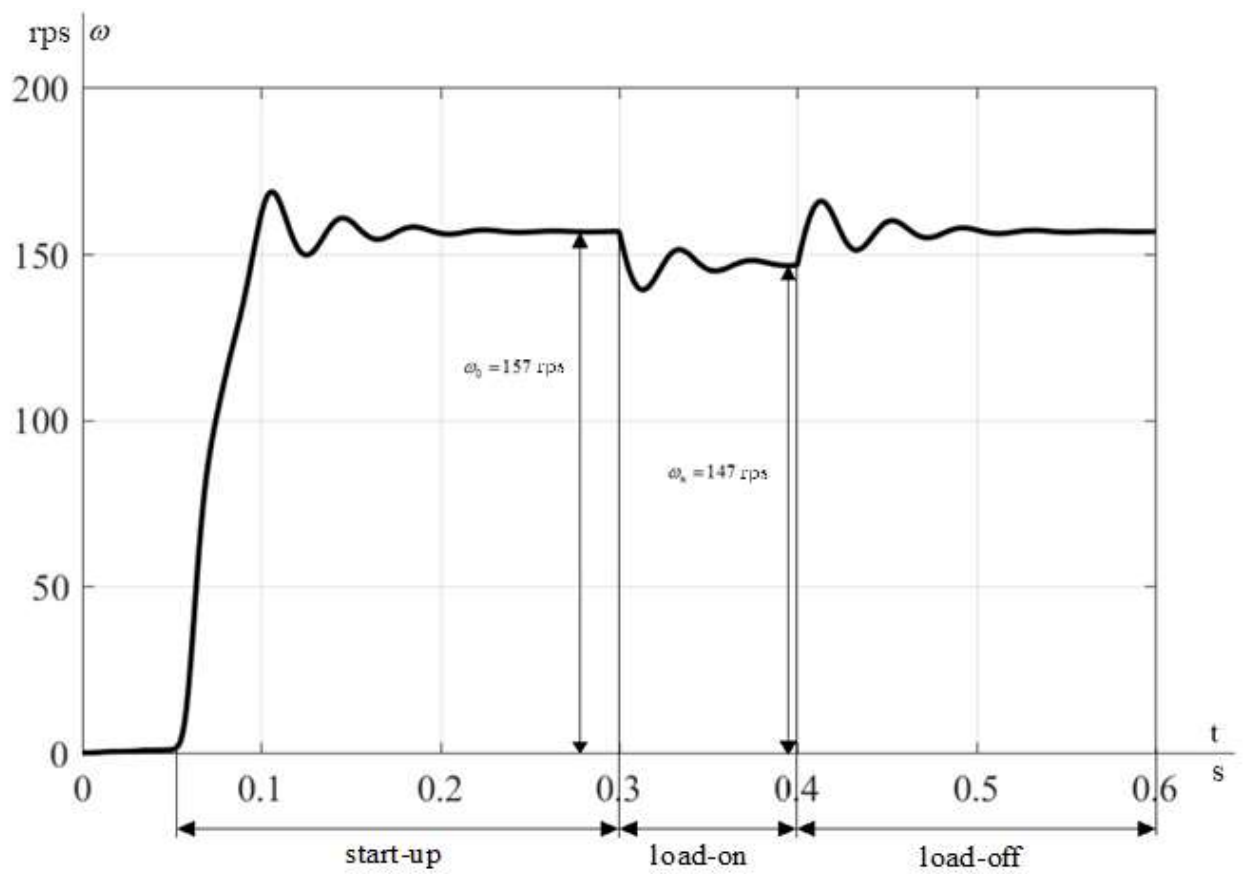


Figure 31 - The transient response $\omega = f(t)$ of the rotor speed IM at start-up, load-on, load-off

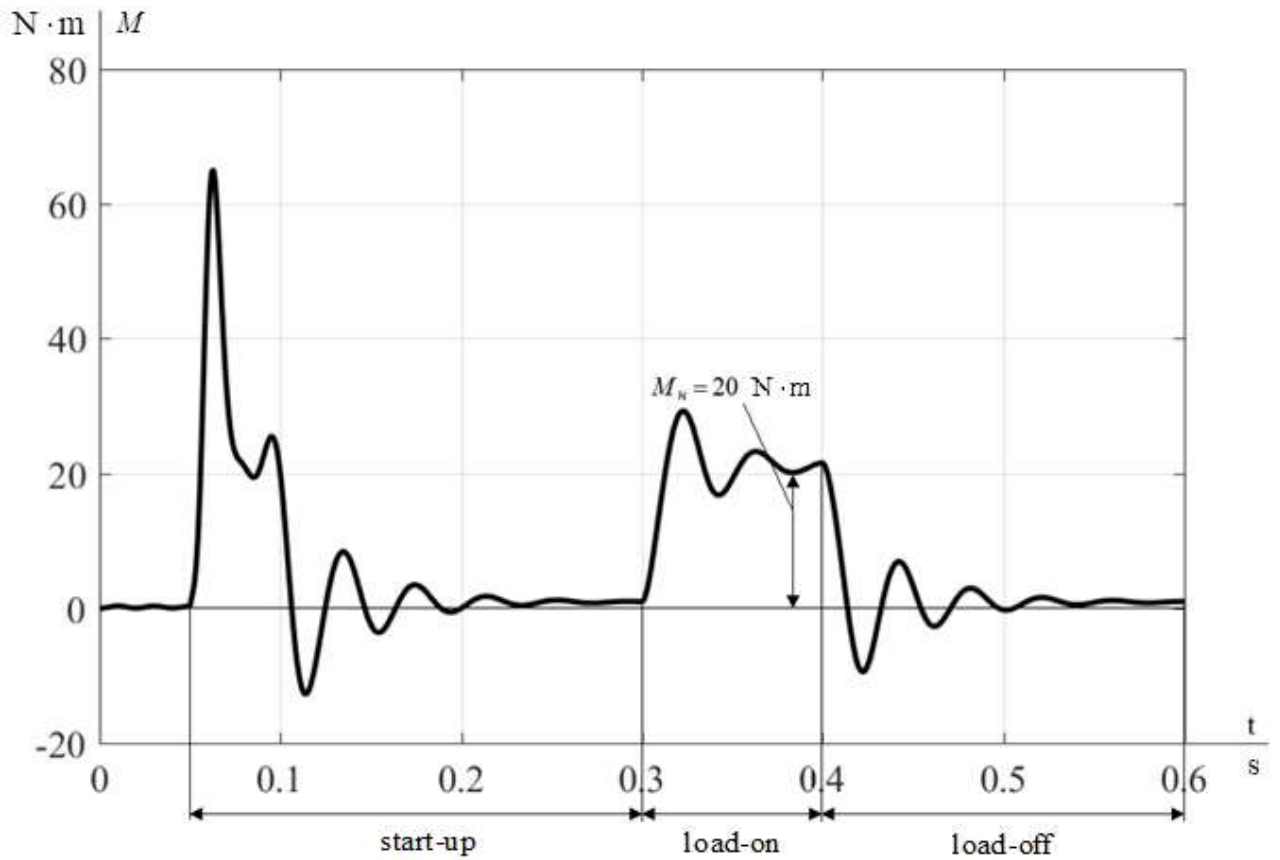


Figure 32 - Transient response $M = f(t)$ of the electromagnetic torque of the IM at start-up, load-on, load-off

Next step was to simulate a drive with a fan load. The simulation model of a variable speed drive is shown in Figure 33.

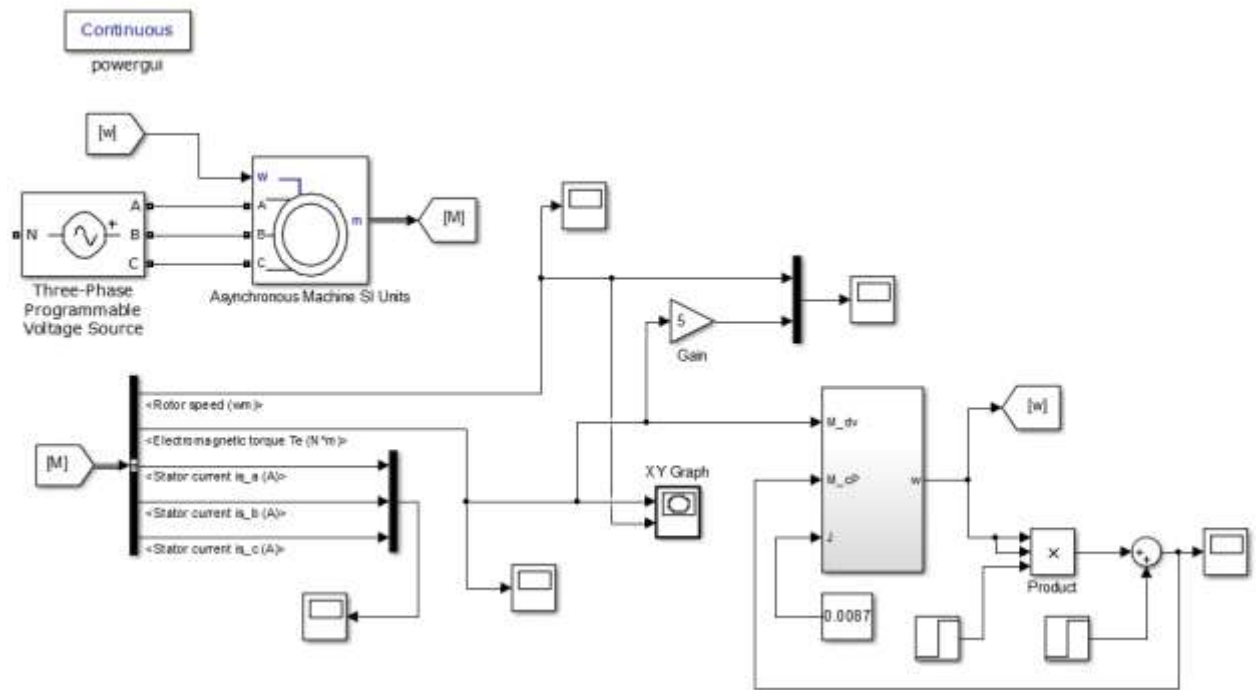


Figure 33 - Simulation model of the electric drive

The model of the fan load and the inertial mass taking into account the variable moment of inertia J and the variable reactive moment M_{cp} are shown in Fig. 34, 35.

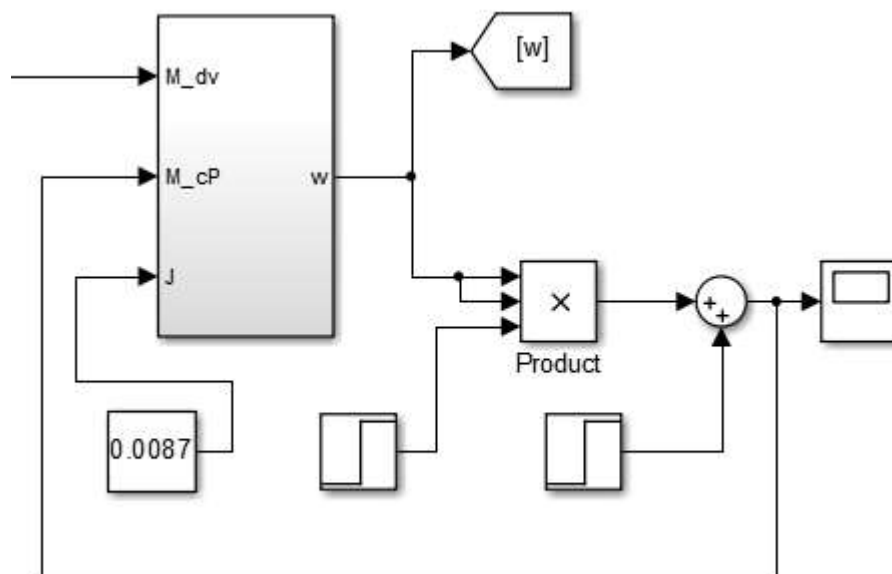


Figure 34 - Simulation model of the fan load

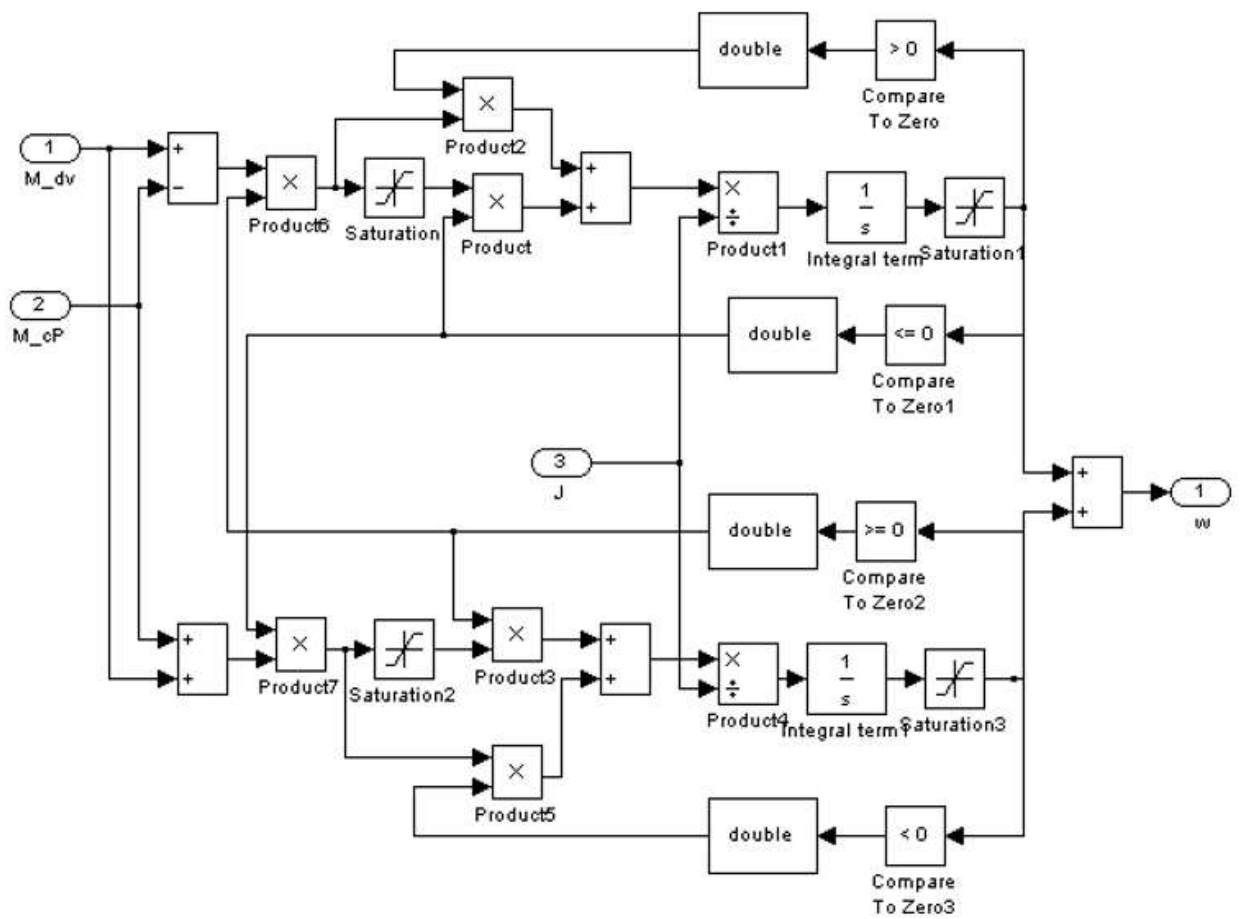


Figure 35 - Simulation model of the inertial mass

Figure 36 shows the transient characteristics of speed and torque, as well as the dynamic mechanical characteristics of the start-up of the AD when the fan is turned on. Figure 37 shows the transient response of the fan load.

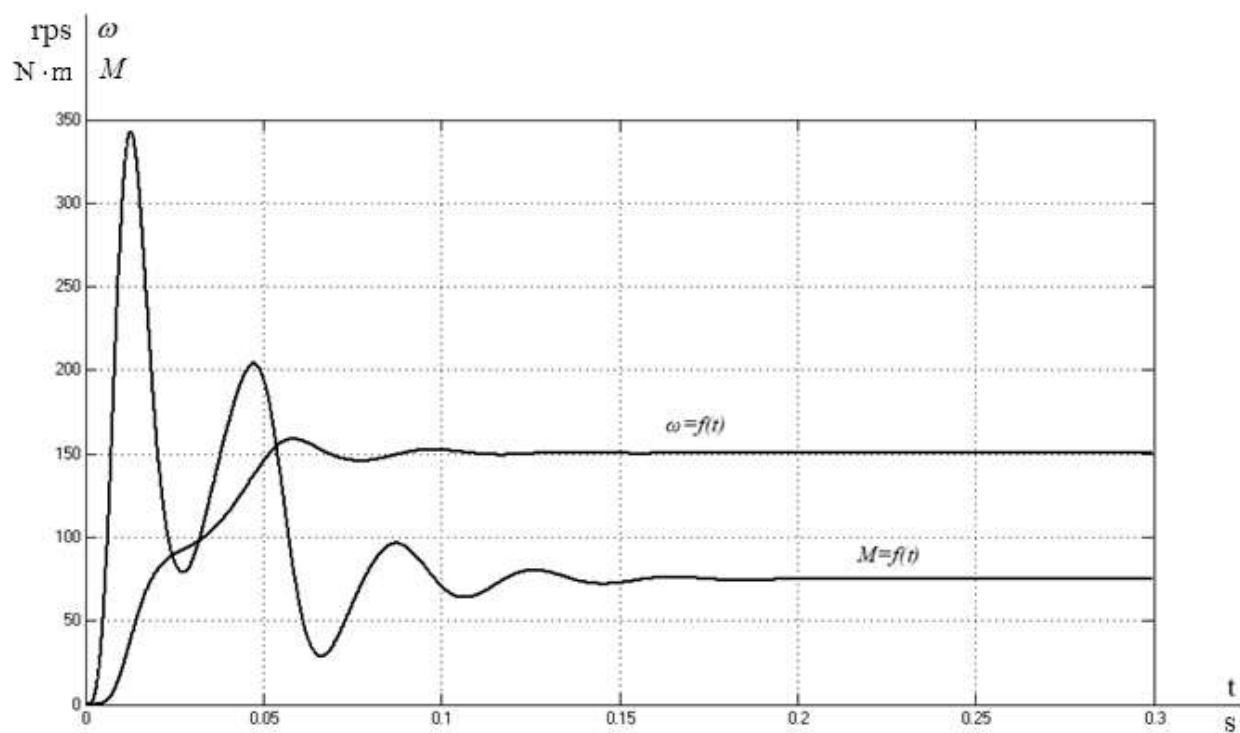


Figure 36 - The transient responses $M = f(t)$ of the electromagnetic torque and $\omega = f(t)$ of the rotor speed AD when the fan is started

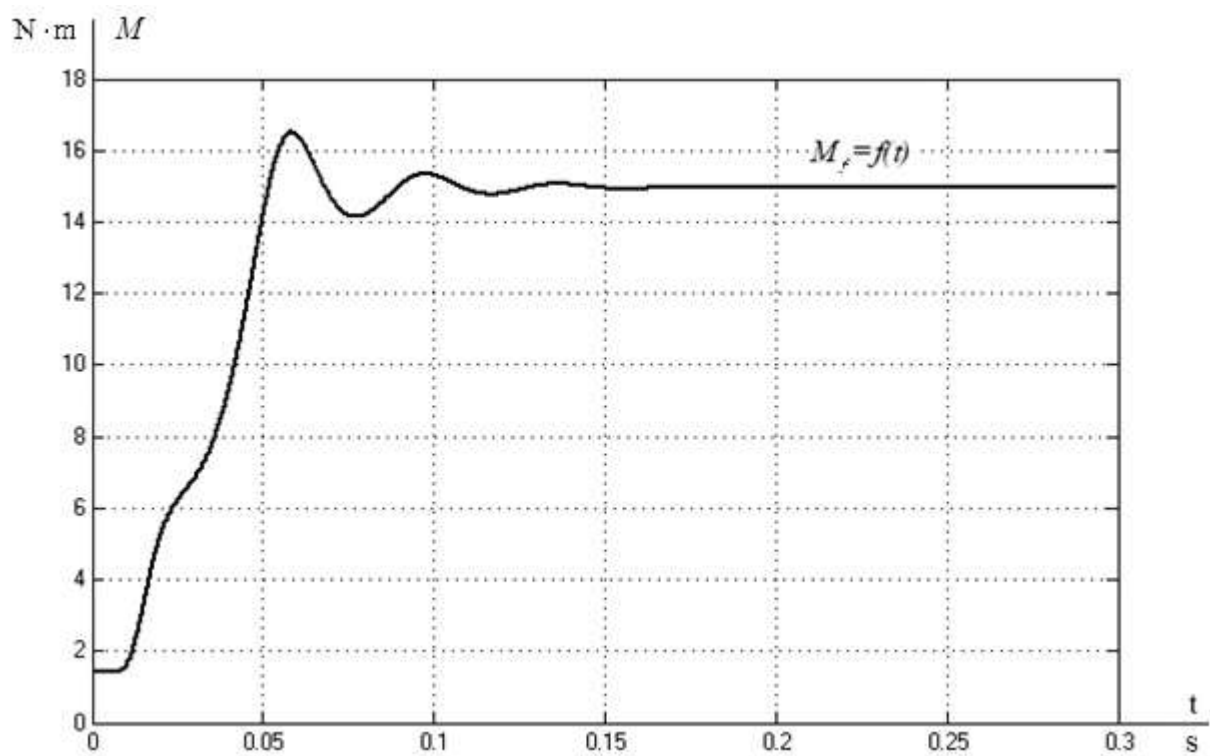


Figure 37 – Transient characteristics $M = f(t)$ of the fan load

CONCLUSION

Static and dynamic characteristics, electromechanical transient characteristics have been calculated and constructed. Based on the obtained transient characteristics in Figures 31, 32 and 36, it is established that decrease in frequency and voltage, leads to proportional decrease of the nominal speed, transient time and electromagnetic torque.

Simulation model of IM was built in MATLAB Simulink and transient functions were obtained. Transient time varies 0.3 to 0.6 seconds.

References

35. Dementyev Yu. N., Chernyshev A. Yu., Chernyshev I. A. Electric motor drive: a study guide. - Tomsk: TPU, 2008 : 224 p.
36. Prohorov A. M. Great Soviet Encyclopedia: [in 30 tome] // Fan / Ch. Ed. Prokhorov A. M.. - 3rd ed. - M.: Soviet Encyclopedia, 1969-1978.
37. Roslyakov E. M., Kochenkov N. V., Zolotukhin I. V. Pumps. Fans. Air-conditioners: Reference book / Edited by Roslyakov E. M. - St. Petersburg: Politechnica, 2006 : 822p.
38. Shekhovtsev V. P. Calculation and design of the Shelter and electrical installations of industrial machines / Shekhovtsev V. P. - M.: FORUM, 2010: 352 p .: ill.
39. Marine ship fans - catalog of ship's ventilation systems [Electronic resource] / sudo-prom.ru - Access mode: <http://sudo-prom.ru/morskie-sudovye-ventilyatory.html> (free circulation date 27.03. 16)

Приложение Б. Технические характеристики радиальных судовых вентиляторов

Наименование	Мощность двигателя, кВт	Скорость вращения, об/мин	Производительность м ³ /ч до	Производительность м ³ /ч от	Полное давление, Па, от	Полное давление, Па, до	Типоразмер двигателя	Масса, кг
PCC 2,5/6,3-1.1.4	0,37	3000	350	150	690	560	ADM63A2CM2	9,1
PCC 6,3/6,3-1.1.4	0,37	3000	800	290	780	410	ADM63A2CM2	10
PCC 6,3/10-1.1.4	0,55	3000	820	220	1140	800	ADM63B2CM2	11,8
PCC 10/10-1.1.4	0,75	3000	1100	550	1240	800	ADM71A2CM2	20,5
PCC 16/10-1.1.4	1,10	3000	1860	800	1410	700	ADM71B2CM2	24,5
PCC 25/10-1.1.4	1,50	3000	3000	1200	1420	800	ADM80A2CM2	21,1
PCC 40/10-1.1.4	3,00	1500	4300	2500	1240	840	ADM100S4CM2	60
PCC 80/10-1.1.4	5,50	1500	9200	3600	1340	930	ADM112M4CM2	100
PCC 4/16-1.1.4	0,55	3000	620	260	1600	1450	ADM63B2CM2	10,4
PCC 6,3/16-1.1.4	0,75	3000	850	800	1550	1350	ADM71A2CM2	14,6
PCC 10/16-1.1.4	1,10	3000	1200	700	1600	3000	ADM80A2CM2	18
PCC 25/16-1.1.4	2,20	3000	3200	1450	2000	1230	ADM80B2CM2	24,1
PCC 40/16-1.1.4	4,00	3000	4400	2000	2200	1450	ADM100S2CM2	42,2
PCC 63/16-1.1.4	7,50	3000	6800	2900	2850	1500	ADM112M2CM2	76
PCC 100/16-1.1.4	11,00	1500	11500	5000	2050	1250	A132M4CM2	156
PCC 160/16-1.1.4	13,00	750	8450	3060	650	400	AHP180M8/4CM2	332
PCC 160/16-1.1.4	18,50	1500	17300	8740	2500	1350	AHP180M8/4CM2	332
PCC 400/18-1.1.4	18,50	500	20000	10800	700	480	5AM 250M12/6CM2	900
PCC 400/16-1.1.4	36,00	1000	40000	21600	2500	1570	5AM 250M12/6CM2	900

Приложение В. Обозначение вентиляторов

Обозначение вентилятора:

PCC Q/P - 1 X

Параметры вентилятора:

Q – расход воздуха на номинальном режиме, м³/ч, уменьшенный в 100 раз.

P – давление полное на номинальном режиме, Па, уменьшенное в 100 раз.

1 – с непосредственным приводом от двигателя

Вид перемещаемой газовой смеси:

1.4 – воздух, не содержащий взрывоопасные и агрессивные среды;

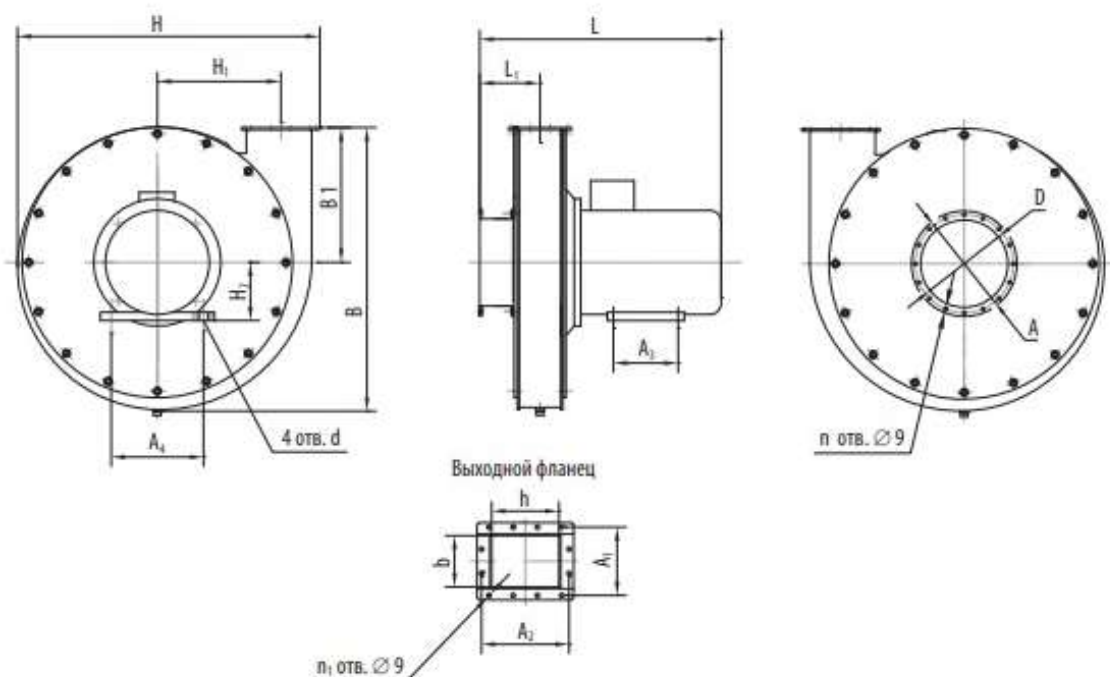
1.2A – воздух, содержащий пары аммиака (в объемной доле не более 15%);

1.2K – воздух, содержащий одновременно пары серной кислоты и водород, объемная доля которого не превышает 3%;

1.4Б – воздух, содержащий пары бензина или керосина;

1.4В – воздух, содержащий пары водорода (в объемной доле не более 3%).

Приложение Г. Габаритные и присоединительные размеры вентилятора радиального судового



Индекс вентилятора	L	L ₁	B	B ₁	b	H	H ₁	H ₂	h	A	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	D	d	Количество отверстий, шт	
																	n	n ₁
PCC 2,5/6,3-1.1.4	328	88	295	141	95	290	95	63	65	136	125	95	80	100	106	7	8	8
PCC 6,3/6,3-1.1.4	368	108	330	155	135	345	115	63	105	161	165	135	80	100	131	7	8	12
PCC 6,3/10-1.1.4	371	108	350	158	135	385	142	63	105	161	165	135	80	100	131	7	8	12
PCC 10/10-1.1.4	408	103	390	194	105	410	107	71	205	186	135	235	90	112	156	7	12	12
PCC 16/10-1.1.4	436	118	450	223	156	460	135	71	226	186	186	256	90	112	156	7	12	16
PCC 25/10-1.1.4	515	138	483	213	196	540	165	80	286	236	226	316	100	125	206	10	16	20
PCC 40/10-1.1.4	640	185	720	323	286	810	360	100	196	286	316	226	112	160	256	12	16	20
PCC 80/10-1.1.4	722	193	810	370	300	860	223	112	470	436	330	500	140	190	406	12	24	32
PCC 4/16-1.1.4	328	88	363	168	95	410	170	63	65	136	125	95	80	100	106	7	8	8
PCC 6,3/16-1.1.4	385	93	385	183	105	385	112	71	135	161	135	165	90	112	131	7	8	12
PCC 10/16-1.1.4	406	103	445	220	105	460	142	71	205	186	135	235	90	112	156	7	12	12
PCC 25/16-1.1.4	545	153	480	233	226	540	213	80	156	236	256	186	100	125	206	10	16	16
PCC 40/16-1.1.4	553	138	540	254	196	610	214	100	286	286	226	316	112	160	256	12	16	20
PCC 63/16-1.1.4	813	242	643	323	396	664	217	112	196	336	426	226	140	190	306	12	20	24
PCC 100/16-1.1.4	865	220	990	450	360	1133	413	132	470	386	390	640	178	216	356	12	20	38
PCC 160/16-1.1.4	1100	281	1212	587	430	1356	436	222	720	540	460	750	315	430	510	17,21	32	44
PCC 400/16-1.1.4	1650	455	1973	940	810	1986	560	450	1070	840	840	1100	450	800	810	24	48	72
PCC 2,5/25-1.1.4	298	73	435	204	65	460	165	63	95	136	95	125	80	100	106	7	8	8
PCC 8/25-1.1.4	365	83	470	236	85	485	165	71	165	161	115	195	90	112	131	7	8	12
PCC 16/25-1.1.4	444	103	505	253	105	540	165	80	205	186	135	235	100	125	156	10	12	12
PCC 25/25-1.1.4	505	118	530	250	156	570	185	100	226	236	186	256	112	160	206	12	16	16
PCC 40/25-1.1.4	670	183	611	270	286	681	255	100	196	286	316	226	140	160	256	12	16	20
PCC 63/25-1.1.4	824	165	660	313	247	680	155	132	400	286	277	457	178	216	256	12	16	28
PCC 100/25-1.1.4	865	191	772	354	300	836	228	160	470	386	330	500	178	254	356	15	20	32

Приложение Д. Акустические характеристики вентиляторов радиальных судовых

Индекс вентилятора	Место замера		Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							Суммарный урo- вень звукового давления, дБ
			125	250	500	1000	2000	4000	8000	
			Уровни звукового давления, дБ							
PCC 2,5/6,3-1.1.4	Всасыв.	Вокруг	58	63	61	53	51	46	43	67
PCC 6,3/6,3-1.1.4	Всасыв.	Вокруг	54	56	62	62	55	49	41	66
PCC 6,3/10-1.1.4	Всасыв.	Вокруг	58	63	66	60	56	50	43	69
PCC 10/10-1.1.4	Всасыв.	Вокруг	65	65	75	69	62	56	49	77
PCC 16/10-1.1.4	Всасыв.	Вокруг	61	69	70	68	66	58	50	74
PCC 25/10-1.1.4	Всасыв.	Вокруг	66	72	72	71	72	66	54	76
PCC 40/10-1.1.4	Всасыв.	Вокруг	74	73	70	68	65	59	53	79
PCC 80/10-1.1.4	Всасыв.	Вокруг	79	80	83	74	69	63	56	87
PCC 4/16-1.1.4	Всасыв.	Вокруг	57	58	60	61	56	50	43	68
PCC 6,3/16-1.1.4	Всасыв.	Вокруг	65	63	64	63	60	58	43	70
PCC 10/16-1.1.4	Всасыв.	Вокруг	71	75	72	71	62	57	49	79
PCC 25/16-1.1.4	Всасыв.	Вокруг	69	72	76	72	70	64	56	80
PCC 40/16-1.1.4	Всасыв.	Вокруг	72	78	78	75	74	69	60	84
PCC 63/16-1.1.4	Всасыв.	Вокруг	77	83	79	75	73	69	62	87
PCC 100/16-1.1.4	Всасыв.	Вокруг	81	79	76	71	68	67	59	86
PCC 160/16-1.1.4	Всасыв.	Вокруг	82	84	78	76	76	68	68	87
PCC 400/16-1.1.4	Всасыв.	Вокруг	92	89	88	85	83	77	70	96
PCC 2,5/25-1.1.4	Всасыв.	Вокруг	53	55	63	61	58	52	46	66
PCC 8/25-1.1.4	Всасыв.	Вокруг	60	63	67	73	65	58	49	77
PCC 16/25-1.1.4	Всасыв.	Вокруг	66	74	71	69	72	70	61	80
PCC 25/25-1.1.4	Всасыв.	Вокруг	70	75	83	77	72	69	58	85
PCC 40/25-1.1.4	Всасыв.	Вокруг	75	77	81	77	73	70	61	84
PCC 63/25-1.1.4	Всасыв.	Вокруг	81	84	87	80	79	75	66	91
PCC 100/25-1.1.4	Всасыв.	Вокруг	83	91	88	89	83	79	72	94

Приложение Е. Аэродинамические характеристики вентиляторов радиальных
РСС 2.5/6.3, 2.5/10, 6.3/6.3, 6.3/10

